

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EFFETS DU NEUROFEEDBACK SUR LE FONCTIONNEMENT INTELLECTUEL  
ET LES COMPORTEMENTS D'ENFANTS PRÉSENTANT UN TDAH

THÈSE  
PRÉSENTÉE  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR  
GENEVIÈVE MOREAU

JANVIER 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## AVANT-PROPOS

Les résultats expérimentaux présentés ici proviennent d'une étude effectuée conjointement avec une autre doctorante du laboratoire d'André Achim, soit madame Caroline Picard. Bien que les participants et les modalités d'entraînements aient été les mêmes pour les deux thèses, les questions de recherche sont distinctes, tout comme les outils d'évaluation utilisés pour répondre à ces questions. Alors que nous nous intéressons aux effets du neurofeedback sur le comportement et sur le fonctionnement intellectuel, l'étude de madame Picard s'intéresse plus particulièrement à un ensemble de contributions aux effets du neurofeedback qu'on peut résumer sous l'appellation d'effets placebo (principalement à partir d'observations faites à l'électroencéphalogramme ainsi qu'aux mesures cognitives qui évaluent l'attention et l'inhibition). Les résultats de cette autre recherche doctorale seront publiés ultérieurement. Ceci explique que divers aspects des données recueillies lors de l'expérimentation conjointe ne sont pas traités dans cette thèse, mais le seront dans celle de Mme Picard.

## REMERCIEMENTS

Je dois remercier plusieurs personnes qui m'ont toutes aidée, de près ou de loin, à relever ce grand défi, dont les membres du jury qui ont lu cette thèse.

Je remercie d'abord mon directeur de thèse, André Achim, qui m'a permis d'accéder au merveilleux monde de la neuropsychologie. Je veux souligner sa rigueur scientifique, mais surtout, sa grande disponibilité puisqu'il a toujours été là pour répondre avec diligence à mes nombreuses questions. Je remercie également ma co-directrice, Marie-Claude Guay qui a généreusement partagé son expérience clinique et qui a été d'une aide précieuse pour organiser intelligemment la présentation de cette thèse. Marie-Claude et André forment une excellente équipe de directeurs, leurs forces étant complémentaires.

Je tiens aussi à remercier Caroline Picard, qui fut une grande complice dans la réalisation de cette recherche. Caroline est à la fois une amie généreuse et une collègue travaillante sur laquelle je peux toujours compter.

Je remercie aussi toutes les personnes qui ont permis la réalisation de cette recherche soit en tant que formateurs (ADD Centre, Biofeedback Foundation of Europe,

Thought technology), soit à titre de participants (enfants et parents), entraîneurs, psychotechniciens ou encore comme organismes boursiers (Fédération canadienne des femmes diplômées des universités ; FRSQ), subventionnaires (Biofeedback Foundation of Europe) ou facilitateurs (locaux fournis par l'équipe de la Clinique des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies). Je dois souligner plus particulièrement la contribution de Marie-Christine Potvin qui a été présente à toutes les étapes de cette recherche.

J'aimerais également remercier les étudiants de mon laboratoire (GIRAC) qui ont aussi participé à ma formation sur l'EEG et/ou avec qui j'ai partagé de bons moments. Je n'oublie pas mes professeurs et superviseurs de stage qui m'ont donné le goût d'en savoir davantage et de parfaire mes connaissances.

Finalement, je tiens à remercier ma famille et mes ami(e)s, plus particulièrement mes parents, ma sœur, mes cousin(e)s et spécialement mon conjoint et mes deux beaux petits trésors, Hugo et Alexandre, pour leur patience et leur amour inconditionnel.

## TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS .....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	x
RÉSUMÉ .....	xi
CHAPITRE I	
Le Trouble du Déficit de l'Attention .....	1
Déficits Cognitifs chez les Personnes Présentant un TDAH .....	1
L'Activité Corticale des Personnes Présentant un TDAH.....	3
Le Traitement des Personnes Présentant un TDAH .....	4
Le Neurofeedback.....	6
Introduction.....	6
Définition.....	6
Histoire de l'utilisation du neurofeedback.....	7
Modèles théoriques.....	7
Efficacité du Neurofeedback.....	11
Généralités.....	11
Neurofeedback et fonctionnement intellectuel chez les personnes présentant un TDAH.....	12
Utilisation du neurofeedback pour réduire les difficultés comportementales chez les personnes présentant un TDAH.....	14
Études de l'effet placebo dans le traitement de neurofeedback chez les enfants présentant un TDAH.....	16
Synthèse des effets du neurofeedback auprès des personnes présentant un TDAH.....	20
CHAPITRE II	
Objectifs et Hypothèses de Recherche.....	22
CHAPITRE III	
Expérimentation 1 .....	24
Méthodologie .....	24
Participants.....	24

Attribution des participants.....	24
Instruments.....	25
Évaluations pré-test et post-test. ....	25
Entraînements. ....	26
Procédure .....	26
Pré-tests et post-tests.....	26
Entraînements. ....	27
Résultats de l'Expérimentation 1 .....	28
Tests Statistiques.....	28
Résultats.....	31
Échelle comportementale SDQ.....	31
Échelle comportementale CBCL. ....	34
Échelle comportementale DuPaul.....	39
WISC-IV. ....	42
Conclusion de l'Expérimentation 1 .....	45
<b>CHAPITRE IV</b>	
Expérimentation 2.....	47
Méthodologie .....	47
Participants.....	47
Attribution des participants.....	47
Instruments.....	48
Pré-tests et post-tests.....	48
Entraînements des conditions neurofeedback et placebo.....	48
Procédure .....	48
Pré-tests et post-tests.....	48
Entraînements. ....	48
Entraînements en condition neurofeedback. ....	49
Entraînements en condition placebo. ....	49
Résultats de l'Expérimentation 2.....	50
Tests Statistiques.....	50
Résultats des Questionnaires Complétés par les Parents .....	51

Échelle comportementale du SDQ.....	51
Échelle comportementale CBCL. ....	53
Échelle comportementale DuPaul. ....	55
Résultats des Questionnaires Complétés par les Enseignants.....	57
Échelle comportementale CBCL. ....	57
Résultats au WISC-IV.....	59
Résultats des composites de cotes z.....	61
Composite questionnaires comportementaux .....	61
Composite WISC-IV.....	63
CHAPITRE V	
Discussion.....	65
Rappel des Objectifs et des Résultats .....	65
Interprétation des Résultats.....	66
Effets du Neurofeedback sur les Symptômes Comportementaux du TDAH .....	66
Comparaison des résultats des deux études. ....	69
Le mystère du CBCL. ....	71
Version enseignant des questionnaires. ....	72
Effets du Neurofeedback sur le fonctionnement intellectuel.....	73
Limitations .....	75
Conclusions par Rapport aux Données.....	78
Les Implications Théoriques et Pratiques des Résultats.....	79
Ouverture vers d'Autres Sujets à Aborder.....	80
BIBLIOGRAPHIE.....	83
APPENDICE A	
TABLEAU DES PROTOCOLES UTILISÉS DANS DIVERSES RECHERCHES EN NEUROFEEDBACK.....	93
APPENDICE B	
MÉTHODOLOGIE PLACEBO .....	98
APPENDICE C	
SCHÈME EXPÉRIMENTAL.....	114
APPENDICE D	
DESCRIPTION DES PARTICIPANTS.....	115

## APPENDICE E

## FORMULAIRES DE CONSENTEMENT ET QUESTIONNAIRES

COMPORTEMENTAUX..... 117

## APPENDICE F

EXEMPLES D'ÉCRANS..... 152

## APPENDICE G

PARAMÈTRES D'ENTRAÎNEMENT ..... 157



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Moyennes des scores bruts au SDQ, version parent, phase 1	p. 32
Tableau II	Moyennes des scores bruts au SDQ, version enseignant, phase 1	p. 33
Tableau IIIa	Moyennes des scores T au CBCL, version parent (échelles Syndromes), version parent	p. 35
Tableau IIIb	Moyennes des scores T au CBCL, version parent (échelles DSM), phase 1	p. 36
Tableau IVa	Moyennes des scores T au CBCL, version enseignant (échelles Syndromes), phase 1	p. 37
Tableau IVb	Moyennes des scores T au CBCL, version enseignant (échelles DSM), phase 1	p. 38
Tableau V	Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version parent, phase 1	p. 40
Tableau VI	Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version enseignant, phase 1	p. 41
Tableau VIIa	Moyennes des scores pondérés aux sous-tests du WISC-IV, phase 1	p. 43
Tableau VIIb	Moyennes des scores pondérés aux échelles du WISC-IV, phase 1	p. 44
Tableau VIII	Moyennes des scores bruts à l'item des « Troubles comportementaux » au SDQ, version parent, phase 2	p. 52
Tableau IX	Moyennes des scores T au CBCL, version parent, phase 2	p. 54

Tableau X	Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version parent, phase 2	p. 56
Tableau XI	Moyennes des scores T à la variable « Agressivité » du CBCL, version enseignant, phase 2	p. 58
Tableau XII	Moyennes des scores pondérés aux échelles du WISC-IV, phase 2	p. 60
Tableau XIII	Composite questionnaires comportementaux, phase 2	p. 63
Tableau XIV	Composite WISC-IV, phase 2	p. 62
Tableau XV	Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version parent (mêmes groupes d'âge en pré et post-test), phase 2	p. 68
Tableau XVI	Moyennes au DuPaul, version parent (mêmes groupes d'âge en pré et post-test) des groupes « traité » et « contrôle » (placebo et attente regroupés) des phases 1 et 2, en tenant compte du facteur étude comme covariable	p. 70
Tableau A1	Protocoles utilisés dans diverses recherches en neurofeedback	p. 93
Tableau D1	Participants à l'expérimentation 1	p. 115
Tableau D2	Participants à l'expérimentation 2	p. 116

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADHD	Attention deficit and hyperactivity disorder
AMM	Association médicale mondiale
CADDRA	Canadian ADHD Resource Alliance
CBCL	Child Behavior Checklist
CTA	Clinique des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies
DSM-IV-TR	Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 4 <sup>e</sup> édition révisée
DuPaul	DuPaul ADHD rating scale
EEG	Électroencéphalogramme
EEGq	Électroencéphalogramme quantitatif
EMG	Électromyogramme, abréviation utilisée pour faire référence à l'activité électrique musculaire
MTA	Multimodal Treatment study of children with Attention-deficit/hyperactivity disorder cooperative group
PANDA	Regroupement des parents aptes à négocier avec le déficit d'attention
QI	Quotient intellectuel
QIG	Quotient intellectuel global
RSM	Rythme sensori-moteur
SCP	Potentiel corticaux lents (slow cortical potentials)
SDQ	Strengths and Difficulties Questionnaires
SPR	Synchronisation post-renforcement
TDAH	Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité
WISC-III	Troisième version du Weschler Intelligence Scale for Children
WISC-IV	Quatrième version du Weschler Intelligence Scale for Children

## RÉSUMÉ

Le neurofeedback est typiquement considéré par le monde médical comme une technique prometteuse dans le traitement du TDAH, mais dont l'efficacité spécifique n'est pas suffisamment bien établie.

La présente étude cherche à déterminer des effets spécifiques au neurofeedback sur le fonctionnement intellectuel et sur les comportements d'enfants présentant un TDAH. Pour ce faire, deux expérimentations ont été réalisées auprès de 46 enfants au total (15 enfants lors de la première expérimentation et 31 pour la deuxième), âgés de 7 à 13 ans et ayant un diagnostic de TDAH (tous déjà traités avec une médication psychostimulante). L'entraînement de neurofeedback visait à augmenter l'amplitude du rythme sensori-moteur (12-15 Hz) et à diminuer l'amplitude des ondes Thêta (4-8Hz) au-dessus du cortex sensori-moteur droit (C4).

La première expérimentation impliquait des enfants recevant le neurofeedback et d'autres en liste d'attente. Elle visait d'abord à récolter les enregistrements EEG requis pour la condition placebo de l'étude suivante et à identifier les variables les plus susceptibles de montrer l'efficacité du traitement. Elle pouvait aussi déjà démontrer une certaine efficacité du protocole de neurofeedback choisi. En cela et malgré la prise en compte du grand nombre de variables examinées, deux sous-échelles « TDAH » du questionnaire CBCL complété par les parents ont montré des améliorations significatives pour les enfants ayant bénéficié du neurofeedback. Le questionnaire DuPaul rempli par les parents montrait aussi un effet crédible, mais en deçà du seuil statistique corrigé pour le grand nombre de variables examinées dans cette étude préliminaire.

La deuxième expérimentation reprenait les mêmes conditions en ajoutant un groupe placebo avec double insu (concernant les groupes placebo et neurofeedback). Le but de la condition placebo était de déterminer que c'est bien la modulation de l'EEG et non la relation établie avec les parents du groupe entraîné qui amène les améliorations rapportées. Les enfants sélectionnés ont été répartis aléatoirement en trois groupes (vrai neurofeedback, neurofeedback placebo, attente). La tendance vers un effet significatif au DuPaul-parent de la première étude et la contribution de l'entraînement de l'EEG ont été confirmées à l'étude 2 puisque des améliorations significatives ont été observées pour le groupe d'enfants ayant bénéficié du vrai neurofeedback par rapport aux deux groupes contrôles sur deux des trois sous-échelles du questionnaire DuPaul-parent (« Inattention » et « Totale »). Toutefois, les améliorations significatives obtenues lors de la première expérimentation au CBCL n'ont pas été reproduites, ce qui demeure inexpliqué. Des gains aux échelles partielles « Compréhension verbale » et « Mémoire de travail » ainsi qu'à l'échelle globale de l'épreuve d'intelligence ont aussi été observés, ce qui n'avait pas été le cas lors de la première expérimentation. Notons toutefois que ces gains n'étaient pas suffisamment importants pour franchir le seuil de signification avec la correction de Bonferroni ( $p \leq .01$ ) spécifiée a priori.

En conclusion, les résultats obtenus mettent en évidence des effets spécifiques au neurofeedback agissant notamment sur les symptômes comportementaux du TDAH. Rappelons que ces effets n'ont pas été observés pour le groupe en condition placebo. D'autres recherches sont nécessaires pour reproduire ces résultats et éventuellement, mieux comprendre le fonctionnement de ce traitement afin d'être en mesure de l'utiliser de façon optimale.

MOTS CLÉ : Neurofeedback ; TDAH ; enfants ; placebo

## CHAPITRE I

### *Le Trouble du Déficit de l'Attention*

Le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) affecte mondialement entre 3 et 7 % des enfants d'âge scolaire (Faraone, Sergeant, Gillberg, & Biederman, 2003). Selon le DSM-IV-TR (2001), il s'agit d'un mode persistant d'inattention et/ou d'hyperactivité-impulsivité (trois sous-types, inattentif, hyperactif-impulsif et combiné ou mixte), plus fréquent et plus sévère que ce qu'on observerait habituellement chez des personnes d'un niveau de développement similaire, et qui n'est pas mieux expliqué par un autre trouble.

L'étiologie de ce trouble est neurologique et il se transmet généralement de façon héréditaire (Barkley, 2006). Des prédispositions génétiques sont responsables de la modification fonctionnelle des systèmes dopaminergique et noradrénergique particulièrement au niveau des cortex préfrontaux et frontaux, résultant en la présentation des symptômes (Barkley, 2006).

On a longtemps cru que ce désordre ne s'appliquait qu'aux enfants. Il est maintenant reconnu que dans 70 à 80 % des cas, des symptômes persistent à l'âge adulte (Barkley, 2006). Par ailleurs, les comorbidités associées au TDAH sont fréquentes et multiples (MTA, 1999). Parmi ces troubles, l'on retrouve le trouble d'opposition avec provocation, le trouble des conduites, le syndrome de Gilles de la Tourette, des difficultés d'apprentissage spécifiques, les troubles du sommeil, les troubles anxieux et les troubles de l'humeur.

### *Déficits Cognitifs chez les Personnes Présentant un TDAH*

Selon le modèle de Barkley (1997), le trouble d'inhibition est au cœur des difficultés vécues par les personnes présentant un TDAH. La capacité d'inhibition, telle que décrite par Barkley, est essentielle à l'internalisation des conduites et à l'efficacité des fonctions exécutives impliquées dans l'initiation et le maintien d'un comportement dirigé vers un but. Les difficultés d'inhibition ont donc des impacts négatifs sur l'autorégulation des comportements. Par exemple, ces personnes sont souvent impulsives lorsqu'elles accomplissent des tâches motrices et/ou cognitives ainsi que dans les

activités de la vie quotidienne (e.g.: tâches Go-NoGo, interruption de l'interlocuteur de façon intrusive). Elles font davantage d'erreurs de commissions et ont de la difficulté à arrêter un patron de réponse déjà entamé. Elles présentent aussi des difficultés à résister à la tentation, à suivre des consignes ou à attendre une récompense non immédiate.

Pour ce qui est du fonctionnement cérébral, on observe, chez des adolescents avec un TDAH lors d'une tâche d'inhibition, une sous-activation des structures impliquées dans la régulation comportementale (inhibition de la réponse), soit la région ventrolatérale du cortex préfrontal, (Schulz et al., 2004). Le cortex cingulaire antérieur et les régions préfrontales, structures normalement impliquées dans les fonctions exécutives, sont aussi sous-activées chez ces jeunes présentant un TDAH (Schulz et al., 2004). Plus spécifiquement, des chercheurs ont démontré une hypoactivité cérébrale des structures fronto-striatales à l'hémisphère droit durant l'exécution d'une tâche d'inhibition chez les jeunes présentant un TDAH (Casey et al., 1997; Rubia et al., 1999). De même, on a démontré chez des adultes présentant un TDAH (sous-type combiné) une plus grande propension à commettre des erreurs pour les stimuli présentés à l'hémichamp gauche par rapport à l'hémichamp droit, lors d'une tâche d'inhibition, ce qui laisse supposer un malfonctionnement neurologique droit (Braun, Suffren, Delisle, & Bolduc, sous presse).

Par ailleurs, aux épreuves du rendement intellectuel, les enfants présentant un TDAH obtiennent à nouveau de moins bons résultats. Dans leur méta-analyse, Frazier, Demaree et Youngstrom (2004) rapportent une différence moyenne de neuf points au quotient intellectuel global (QI) entre les enfants avec TDAH (incluant tous les sous-types) et ceux du groupe contrôle, au détriment du premier groupe (taille d'effet modérée  $d = 0.61$ ). Selon Barkley (2006), le déficit d'inhibition, et par conséquent les déficits des fonctions exécutives, peuvent expliquer cette différence. Ainsi, le fonctionnement intellectuel serait tributaire, du moins en partie, du développement des fonctions exécutives, plus particulièrement de la mémoire de travail verbale (dont l'internalisation du discours) qui contribue au développement de la pensée verbale. Barkley (2006) ajoute que le moins bon rendement des personnes avec un TDAH est également le reflet de leurs difficultés à démontrer leurs capacités ou l'état de leurs connaissances, étant donné la moins bonne collaboration lors de l'administration des épreuves.

### *L'Activité Corticale des Personnes Présentant un TDAH*

Les recherches en électroencéphalographie quantitative (EEQq; e.g.: Chabot, di Michele, Prichep, & John, 2001), en tomographie d'émissions monophotoniques (SPECT; e.g.: Amen & Carmichael, 1997), en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf; e.g.: Schulz et al., 2004) et en tomographie d'émissions de positons (PET; e.g.: Zametkin et al., 1990) soutiennent toutes l'hypothèse d'une hypoactivité du cortex frontal, ce qui contribuerait à l'expression des symptômes du TDAH. Parmi ces chercheurs, certains rapportent des anomalies affectant les structures frontales et les circuits fronto- striataux plus précisément à l'hémisphère droit (e.g.: Filipek, et al., 1997; Rubia, et al., 1999).

Au niveau psychophysiologique, des différences significatives entre les électroencéphalogrammes (EEG) d'enfants avec TDAH (sous-type mixte) et ceux d'enfants sans TDAH, sont bien documentées (Chabot & Serfontein, 1996; Mann, Lubar, Zimmerman, Miller, & Muenchen, 1992). Ainsi, comparativement aux enfants sans TDAH, on observe, chez ceux qui présentent le trouble, des anomalies à l'EEG au repos, caractérisées principalement par une augmentation, dans les régions frontale et centrale, de l'amplitude des ondes lentes, en particulier celles des fréquences Thêta (4-7 Hz; e.g.: Barry, Clarke, Johnstone, McCarthy, & Selikowitz, 2009; Chabot et al., 2001; Chabot & Serfontein, 1996; Mann et al. 1992; Monastra et al., 1999). Mentionnons que l'augmentation de l'amplitude des ondes lentes implique la synchronisation de nombreux neurones, ce qui se produit quand cette partie du cerveau est désengagée. Cela signifie que le cerveau est alors moins actif. En général, l'amplitude des ondes lentes de type Thêta chez les garçons présentant un TDAH est plus élevée que chez les garçons sans TDAH, lors de l'exécution d'une tâche cognitive. Cela suggère que les garçons présentant un TDAH sont significativement moins actifs que ceux sans TDAH lorsqu'ils se voient présenter un défi cognitif (Mann et al., 1992). L'activité des ondes plus rapides présente aussi des anomalies, notamment au niveau des ondes Bêta (12-25 Hz). On rapporte en effet des amplitudes plus faibles de ces ondes chez la majorité des enfants présentant un TDAH (Mann et al., 1992; Clarke, Barry, McCarthy, & Selikowitz, 1998). Seule une minorité de ces enfants en présente plutôt une augmentation, particulièrement en région frontale (Clarke, Barry, McCarthy & Selikowitz, 2001). Il faut dire que

l'amplitude des ondes rapides est considérée comme le reflet d'un engagement actif du cerveau.

### *Le Traitement des Personnes Présentant un TDAH*

Les difficultés d'inhibition associées au TDAH ont des répercussions néfastes sur le fonctionnement comportemental, social et académique des personnes qui présentent ce trouble. On comprend l'importance accordée, tant dans les milieux scientifiques que cliniques, aux interventions qui visent à réduire l'hyperactivité et améliorer les capacités d'attention chez ces enfants.

Les bienfaits de la médication psychostimulante ont été observés à maintes reprises, notamment lors de la vaste étude américaine MTA (The Multimodal Treatment study of children with Attention-deficit/hyperactivity disorder cooperative group, 1999). Dans cette étude, seuls les enfants qui présentent à la fois un TDAH et un trouble anxieux, ont bénéficié davantage d'une combinaison des traitements (médication et intervention comportementale) que de la médication seulement.

La pharmacothérapie est le traitement le plus répandu chez les personnes présentant un TDAH. Entre autres, la médication psychostimulante a un effet de normalisation de l'EEG chez beaucoup d'enfants présentant un TDAH. En effet, il a été démontré que cette normalisation psychophysiologique se manifeste, chez les enfants répondant à la médication, par une diminution des amplitudes des bandes de fréquences Thêta et Alpha dans la région du cortex central principalement, ainsi que par une augmentation de l'amplitude de la bande des fréquences Bêta dans les régions frontales (Loo, Teale, & Reite, 1999; Clarke, Barry, Bond, McCarthy, & Selikowitz, 2002). Les changements neurophysiologiques observés dans 78,5% des cas, correspondent aux changements comportementaux attendus (Chabot, Orgill, Crawford, Harris, & Serfontein, 1999). Ainsi, à la suite de l'introduction de la médication, les auteurs rapportent une diminution des symptômes comportementaux associés au TDAH (d'après les échelles comportementales) et une normalisation de l'EEG dans environ 70% des cas. Par ailleurs, dans les rares cas où les enfants sous médication ont plutôt présenté une exacerbation des symptômes comportementaux associés au TDAH, 82,4% d'entre eux



présentaient également une augmentation des anomalies à l'EEGq alors que le reste n'y présentait aucun changement notable.

Sur le plan du fonctionnement intellectuel, des gains significatifs d'environ sept points à la mesure de QI (WISC-III) ont été observés chez un groupe d'enfants avec TDAH qui prenaient un psychostimulant depuis au moins un an ( $n = 24$ ), par rapport à un groupe d'enfants avec TDAH, mais sans médication (Gimpel et al., 2005). Dans une méta-analyse, des gains variant de deux à sept points à la mesure de QI sont rapportés chez les enfants présentant un TDAH et qui ont un traitement pharmacologique (Jepsen, Fagerlund, & Mortensen, 2009).

Malgré les améliorations indéniables liées aux traitements pharmacologiques, il faut tout de même noter qu'entre 30 et 50% des enfants qui ont un TDAH, répondent peu ou pas à la médication (CADDRA: Canadian ADHD Resource Alliance, 2011:). De plus, ce pourcentage tend à augmenter avec l'âge (DuPaul, Barkley, & Connor, 1998). Également, même auprès des enfants chez qui la médication est efficace, le degré d'efficacité varie d'un individu à l'autre et des symptômes résiduels peuvent être observés chez certains, et ce, sans compter que la durée des bienfaits n'est que temporaire. Aussi, des effets secondaires à la prise d'une médication psychostimulante ont été documentés (perte d'appétit, perte de poids, troubles du sommeil, ralentissement de la croissance, tics, maux de tête, troubles digestifs). Bien que transitoires dans la plupart des cas, ces effets secondaires se manifestent chez la majorité des personnes ayant recours à des psychostimulants (MTA, 1999).

Le besoin de développer de nouvelles interventions, qui seules ou en complémentarité avec la médication, permettraient d'aider les personnes atteintes d'un TDAH à mieux s'adapter, nous paraît évident compte tenu des inconvénients de la médication psychostimulante ainsi que de la normalisation incomplète des comportements et du fonctionnement cognitif que permet ce traitement (e.g.: Monastra, Monastra, & George, 2002). Malheureusement, à l'heure actuelle, aucune autre approche (e.g.: neurostimulation électrique transcutanée, biofeedback, méditation, diète) que celles de la médication et de l'intervention psychosociale/comportementale n'est scientifiquement reconnue comme étant efficace pour réduire les symptômes comportementaux associés au TDAH. Toutefois, les personnes présentant un TDAH se

voient offrir une variété de traitements complémentaires ou alternatifs à la médication. Parmi ces approches, le neurofeedback est une avenue jugée prometteuse, qui mérite cependant d'être mieux documentée (Arnold, 1999; Arnold, 2001; Toplak, Connors, Shuster, Knezevic, & Parks, 2008).

## *Le Neurofeedback*

### *Introduction*

#### *Définition.*

Le neurofeedback, aussi appelé neurothérapie ou biofeedback EEG, réfère à deux usages bien distincts. Le premier, dit Alpha-Thêta, est utilisé principalement en psychothérapie (e.g.: traitement de l'alcoolisme) afin d'amener la personne dans un état hypnagogique propice à la suggestion (Thompson & Thompson, 2003). Le second vise plutôt des changements comportementaux dans la vie quotidienne, associés à la modulation de l'EEG (e.g.: Thêta-Bêta). Dans le cadre de la présente thèse, nous traiterons exclusivement du second usage.

Le neurofeedback consiste en une rétroaction assistée par ordinateur sur des modulations de l'EEG. Il implique la présentation de signaux visuels ou auditifs proportionnels à la production de paramètres EEG choisis. Des tâches cognitives telles que la lecture, l'écoute active et les tâches d'attention visuelle, sont utilisées avec un feedback auditif afin de promouvoir la généralisation de l'apprentissage. Lors des séances de neurofeedback, le cerveau doit produire plus ou moins intensément certaines ondes cérébrales. Bien que son fonctionnement soit interprété comme un simple conditionnement opérant de la production ou de la suppression des ondes visées, le neurofeedback pourrait aider la personne à reconnaître de petits changements de son état psychique. Graduellement, la personne pourra reconnaître et contrôler ces changements d'état pendant la séance d'entraînement et éventuellement, dans ses activités de la vie quotidienne. Plus spécifiquement, le neurofeedback permet à l'individu présentant un TDAH de normaliser son activité psychophysiologique en diminuant l'intensité de l'activité des ondes lentes et en augmentant celle des ondes rapides. En corrigeant les anomalies de l'EEGq, on s'attend à ce que l'enfant présente un meilleur contrôle de son agitation motrice, une meilleure capacité attentionnelle et un niveau approprié d'éveil, ce

qui devrait avoir un impact sur son fonctionnement de tous les jours (Vernon, Frick, & Gruzelier, 2004).

#### *Histoire de l'utilisation du neurofeedback.*

En 1958, le psychologue Joe Kamiya a fait la découverte qu'une personne peut correctement reconnaître si son cerveau produit des ondes alpha. Cependant, les sujets étaient incapables de dire comment ils s'y prenaient pour faire cette discrimination (rapporté par Thompson & Thompson, 2003). À la fin des années 60, Barry Sterman a démontré que des chats sont capables d'augmenter l'occurrence des fréquences spécifiques entre 12 et 15 Hz (enregistrées dans leur cortex sensori-moteur), par le biais du conditionnement opérant. Il a donné à cette activité des fréquences de 12 à 15 Hz survenant en forme de fuseaux dans l'EEG au-dessus du cortex sensori-moteur, le nom de rythme sensorimoteur (RSM ou sensorymotor rhythm/SMR en anglais). Au fil de ses recherches, il a observé que les chats entraînés à produire plus de RSM sont résistants aux crises épileptiques causées par l'exposition à l'hydrazine, un composé chimique toxique utilisé dans le carburant des fusées. Il a donc étudié les effets de l'entraînement du RSM par neurofeedback chez des humains souffrant d'épilepsie. Il a alors observé que le nombre de crises épileptiques et les anomalies de l'EEG diminuent significativement suite au neurofeedback (Sterman, Macdonald, & Stone, 1974). Tout comme Sterman, Lubar et ses collègues (Lubar & Bahler, 1976; Seifert & Lubar, 1975) ont publié une série d'études démontrant l'efficacité de l'entraînement du RSM par le neurofeedback pour réduire l'activité épileptique. Au cours des traitements, les participants à ces études ont rapporté une amélioration de l'attention et de la concentration suite à l'entraînement. Ce sont ces observations qui ont amené Lubar et ses collègues à vérifier l'efficacité du neurofeedback chez les enfants présentant un TDAH.

#### *Modèles théoriques.*

Il faut d'abord dire que l'utilisation du neurofeedback dans le traitement du TDAH n'a pas été développée à partir d'un modèle théorique, mais se veut plutôt la conséquence d'observations anecdotiques au cours des recherches menées par Barry Sterman (voir section sur l'histoire du neurofeedback). Ce sont ces observations qui ont

éventuellement amené les chercheurs à utiliser le neurofeedback pour traiter les symptômes du TDAH.

Les processus exacts concernant le fonctionnement du neurofeedback sont peu compris et mal expliqués. À notre connaissance, aucune étude scientifique n'a été publiée pour préciser et valider un modèle théorique dans le domaine du neurofeedback. Malgré cela, la plupart des auteurs qui abordent ce sujet décrivent le neurofeedback comme étant un conditionnement opérant de l'activité corticale par lequel on apprendrait à reproduire des comportements qui ont été renforcés et à inhiber les comportements qui ont été punis (Hammond, 2007; Nash, 2000; Swingle, 2008; Thompson et Thompson, 2003; Vernon et al., 2004). Par exemple, lorsque les ondes cérébrales d'un enfant entraîné correspondent à ce qui est attendu, c'est-à-dire que l'EEG correspond à un état considéré de concentration, une animation présentée à l'ordinateur sera activée afin de renforcer le comportement d'attention de l'enfant. En revanche, lorsque l'EEG de l'enfant ne correspond plus à ce qui est attendu, l'animation s'arrête. Ainsi, l'enfant voulant faire continuer l'animation, tentera de reproduire le comportement qui a préalablement été renforcé (on sous-entend ici que le comportement est l'état EEG associé à l'état « psychophysiologique » ou à l'état mental désiré) et ainsi refaire jouer l'animation plaisante à regarder.

Le modèle proposé par Barry Serman (1996) rejoint cette approche. Sur la base des principes du behaviorisme, des connaissances générales des mécanismes responsables de l'activité EEG ainsi que sur les résultats de ses recherches, ce chercheur a tenté d'expliquer les mécanismes d'autorégulation de l'activité EEG. Dans l'article qu'il a publié en 1996, il expose d'abord ses observations faites auprès d'animaux ayant appris à réprimer le geste d'actionner une barre reliée à une machine distribuant la nourriture lorsqu'ils entendaient un son précis. Le chercheur a pu associer un patron EEG au comportement d'immobilisation des animaux entraînés (augmentation de l'activité 12-20 Hz aussi appelé rythme sensori-moteur; signal similaire à celui des fuseaux EEG associés au sommeil). En contrepartie, une activation des ondes 4 à 12 Hz (dans la région pariétale) était observée suite à l'activation de la machine distributrice. Cette activation a été nommée « Synchronisation post-renforcement » (SPR). Monsieur Serman et ses collègues ont ensuite poursuivi leurs recherches dans le but d'induire individuellement

ces activations EEG sur une base volontaire à l'aide du conditionnement opérant. Il a ainsi été découvert que pour produire une activation RSM, les muscles de l'animal devaient se détendre progressivement sur une période de 4 à 6 secondes alors que l'animal était immobile. Sterman, dans cet article, mentionne également qu'une amplification de cette activation RSM peut s'observer simplement en empêchant l'animal chez lequel l'EEG est enregistré, de bouger. De même, le sectionnement de la moelle épinière dans la région cervicale entraîne, tant chez les animaux que chez les humains, une amplification de l'activité RSM. Par ailleurs, il a été démontré que l'activation de type RSM proviendrait du thalamus et serait généralement associée à un état d'immobilisme chez l'animal. En effet, bien que l'activité de 11 à 15 Hz soit observée à la fois dans les états d'éveil et de sommeil, Sterman précise que dans un état « non-attentif », l'activité 11-15 Hz est accompagnée d'une amplification de celle d'ondes lentes (généralement associées à un désengagement cortical). D'ailleurs, dans les travaux de l'équipe de Sterman, le conditionnement chez l'animal à augmenter l'activité des ondes 4 à 12 Hz (SPR) était associé à un état de désengagement puisque, dans cette condition, l'animal était ralenti et, éventuellement, cessait même d'activer le mécanisme de distribution de nourriture.

Dans ses recherches chez les humains, Sterman explique qu'il a remplacé les renforcements de nourriture donnés aux animaux par des renforcements visuels et auditifs. Ainsi, selon Sterman, l'apprentissage qu'une personne fait pour augmenter corticalement l'activité des ondes 11 à 15 Hz dans la région centrale se produit aussi par conditionnement opérant. De plus, les mécanismes d'inhibition de certains noyaux du thalamus qui sont associés à cet apprentissage permettraient à la personne entraînée de se trouver dans un état de vigilance grâce à l'augmentation de l'amplitude des ondes RSM et la diminution de celle des ondes lentes.

En 1997, Lubar publie un article où il présente un « modèle de la dynamique néocorticale » permettant d'expliquer le fonctionnement du neurofeedback. Tout comme Sterman, Lubar explique d'abord que le thalamus est à l'origine des rythmes psychophysiologiques qui se propagent corticalement par le biais de boucles plus ou moins longues et qui peuvent être enregistrés à l'EEG. Il explique que tout comme les émotions, l'apprentissage et la motivation, le neurofeedback peut avoir un effet sur ces

boucles en changeant le rythme produit sous-corticalement au niveau du thalamus. Il appuie sa thèse sur les résultats de ses recherches. Ainsi, il a démontré qu'il est possible pour une personne d'apprendre à réduire l'amplitude des ondes Thêta (4-8 Hz). De plus, cette habileté à modifier l'activité des ondes 4 à 8 Hz suite à un entraînement monopolaire (entraînement sur un site correspondant à la ligne médiane du cerveau), se serait généralisée à l'ensemble des 19 canaux. De même, chez les personnes ne présentant aucune modification de l'EEG au site entraîné, aucun changement EEG n'a été observé à l'un ou l'autre des 19 sites. Lubar conclut donc que si la personne n'apprend pas à changer ce qui est entraîné, il n'y aura pas de changement de la dynamique néocorticale. À l'inverse, lorsque cet apprentissage est possible, un changement à la dynamique néocorticale s'opère alors entraînant par le fait même un changement de la dynamique thalamocorticale.

D'autres chercheurs évoquent plutôt un modèle qui se veut informatif pour expliquer le fonctionnement du neurofeedback. Selon ce modèle, les stimuli sonores et visuels ne sont pas considérés seulement comme des renforcements positifs, mais également comme des rétroactions aidant à identifier les états mentaux recherchés (Siniatchkin, Kropp, & Gerber, 2000).

Tout comme dans le domaine du neurofeedback, il n'y a pas consensus quant à l'adoption d'un modèle théorique dans le vaste domaine du biofeedback (l'équivalent du neurofeedback mais qui concerne diverses modalités physiologiques telles que la tension musculaire, la respiration, la température corporelle...). Schwartz et Schwartz (2003) rapportent au moins quatre modèles théoriques qui sont utilisés en biofeedback. Voici un bref résumé des modèles décrits par Schwartz et Schwartz (2003):

1. Le modèle traditionnel: La diminution des symptômes est le résultat des changements physiologiques. Ainsi, la personne acquiert un contrôle sur la fonction physiologique ciblée grâce à son exposition à l'information qui lui est fournie sur ce système physiologique.
2. Le modèle de changements cognitifs (attribué par les auteurs à Holroyd et al., 1984; Meichenbaum, 1976): Les facteurs cognitifs tels que le sentiment de contrôle et le succès sont essentiels à l'amélioration des symptômes.

3. Le modèle placebo (attribué par les auteurs à Furedy, 1987; Robert, 1985, 1986): Les facteurs non spécifiques au biofeedback tels que la relation thérapeutique et les attentes sont entièrement responsables des améliorations observées.
4. Le modèle de contrôle en boucle ouverte aussi nommé « Feedforward » (attribué à Dunn, Gillig, Ponsor, Weil, & Utz, 1986; LaCroix, 1984): La personne est déjà capable d'exécuter le comportement souhaité et le biofeedback sert à le lui confirmer et à le renforcer sur l'exécution de ce comportement.

On observe certains recoupements entre les modèles théoriques proposés en neurofeedback et en biofeedback. Les modèles de Sterman et de Lubar s'apparentent aux modèles 1 et (possiblement) 4. Toutefois, pour l'instant, aucun des modèles proposés dans le domaine du neurofeedback n'a été éprouvé scientifiquement. De plus, l'explication des mécanismes permettant le traitement de symptômes neurologiques tels que l'hyperactivité et l'inattention, nous paraît incomplète.

### *Efficacité du Neurofeedback*

#### *Généralités.*

Il a été démontré que les sujets sains peuvent modifier leur EEG lors d'un entraînement de neurofeedback (e.g.: Egner & Gruzelier, 2004; Vernon et al., 2003). Il en est de même pour certaines populations cliniques telles que les personnes souffrant d'un traumatisme crânien (e.g.: Thatcher, 2000), d'épilepsie (e.g.: Sterman et al., 1974; Sterman, 2000), de troubles anxieux (Moore, 2000), de troubles affectifs (Rosenfeld, 2000), de dépendances (Trudeau, 2000) et de schizophrénie (e.g.: Gruzelier, Hardman, Wild, & Zaman, 1999).

Par ailleurs, des effets secondaires, tels que des maux de tête, de la fatigue ou encore un état d'éveil et de vigilance plus grand, ont été rapportés de façon anecdotique à la suite de séances de neurofeedback (Hammond, 2007). Des effets secondaires plus importants ont aussi été répertoriés (convulsions, apparition ou exacerbation de tics, labilité émotionnelle, incontinence, anxiété et autres; Hammond & Kirk, 2008). Il faut dire que ces manifestations rapportées par Hammond et Kirk sont marginales et qu'aucune explication n'est offerte par les auteurs. D'ailleurs, aucune étude scientifique



ne rapporte des effets négatifs suite à un entraînement de neurofeedback. Malgré tout, Hammond et Kirk spécifient que ces effets ne sont que temporaires et qu'un neurothérapeute certifié et expérimenté devrait être en mesure de prévenir ou, du moins, de les éliminer, s'ils sont effectivement causés par le neurofeedback.

*Neurofeedback et fonctionnement intellectuel chez les personnes présentant un TDAH.*

Les mesures du rendement intellectuel, ainsi que du comportement, sont parmi les plus souvent utilisées dans les recherches en neurofeedback afin de vérifier son efficacité. Toutefois, les résultats des études scientifiques vérifiant l'efficacité du neurofeedback à améliorer le fonctionnement intellectuel, sont hétérogènes. Ainsi, certains chercheurs rapportent des augmentations, parfois même très importantes, du quotient intellectuel (QI) après le neurofeedback, alors que d'autres n'en observent pas ou peu. Quelques augmentations rapportées nous paraissent particulièrement spectaculaires, notamment des gains de 20 à 23 points au QI global (Fleischman & Othmer, 2005<sup>1</sup>; Othmer, Othmer, & Marks, 1991; Tansey, 1985; Tansey, 1991). Toutefois, la plupart des résultats publiés font état d'améliorations plus modestes avec des gains variant de 5 à 12 points au QI global (Leins et al., 2007; Lubar, Swartwood, Swartwood et O'Donnell, 1995; Martin et Johnson, 2006; Pop-Jordanova et Chakalaroska, 2005; Thompson et Thompson, 1998).

Parmi ceux qui ont observé un gain plus élevé du rendement intellectuel suite à un entraînement de neurofeedback, on retrouve l'équipe de Siegfried Othmer qui a publié en 1991 sur son site internet (EEGSpectrum) les résultats d'une étude effectuée auprès de 15 enfants dont 14 présentaient un TDAH. Othmer et ses collègues (1991) rapportent un gain moyen de 23 points à la mesure du QI global du WISC-R effectuée environ 9 mois après la mesure en pré-test (les auteurs rapportent les scores bruts de chacun des participants aux deux temps). Toutefois, il est raisonnable de mettre en doute la validité des résultats présentés. D'abord, bien que ces résultats paraissent impressionnants et que la méthodologie utilisée semble correcte, le fait que cette étude n'ait été publiée que sur le site internet de la compagnie des auteurs et non dans un journal scientifique avec

---

<sup>1</sup> Les protocoles d'entraînement utilisés dans les recherches sur les effets du neurofeedback sur le TDAH qui sont citées dans cette section sont présentés dans un tableau à l'appendice A.



comité de pairs est d'emblée suspect. De plus, les enfants ayant participé au programme d'entraînement proposé ne sont pas représentatifs des enfants présentant un TDAH puisque déjà au pré-test, ces enfants présentaient un QIG moyen près d'un écart-type plus élevé que ce qui est attendu dans la population générale (QIG moyen en pré-test = 114, la moyenne normative étant 100) alors qu'on s'attend à ce que le QI des enfants présentant un TDAH se situe plutôt environ 9 points sous celui observé dans la population générale (Frazier et al., 2004). Finalement, les chercheurs rapportent des scores pondérés moyens aux sous-tests en post-tests qui sont surprenants. Par exemple, le score pondéré moyen des enfants ayant bénéficié de leur entraînement au sous-test des « Similitudes » (qui évalue la capacité à établir un lien conceptuel entre deux mots) est de 17, soit plus de deux écarts-types au-dessus de la moyenne normative (étant de 10, sur une échelle de 1 à 19). De tels résultats semblent irréalistes et permettent de croire que des erreurs dans la passation des tests ou certains effets de pratique puissent s'être produits. Les augmentations de QI publiées par Fleischman et Othmer en 2005 sont aussi plus élevées que ce qui est généralement rapporté en neurofeedback (les deux participantes jumelles passent respectivement de 71 à 93 et de 59 à 82 au QI global du pré-test au post-test, la moyenne normative étant de 100, l'écart-type de 15). Toutefois, par rapport aux résultats de Othmer et collègues (1991), ceux-ci paraissent plus réalistes, quoique peu généralisables, ces résultats ayant été obtenus auprès de deux enfants présentant des déficits multiples et un rendement intellectuel les situant, en pré-test, près de la déficience.

Parmi ceux qui ont publié des résultats plus modestes sur la mesure du fonctionnement intellectuel, une équipe de chercheurs a comparé les effets du neurofeedback à ceux d'une médication psychostimulante sur le fonctionnement intellectuel d'enfants présentant un TDAH (Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier, & Kaiser, 2003). Ils rapportent des augmentations du QI significatives ( $F(1, 31) = 11.2, p < .001$ ) et équivalentes pour les deux groupes (interaction temps x groupe non significative). Toutefois, ces améliorations demeurent modestes (5 points pour le neurofeedback et 3 points pour la médication psychostimulante).

Linden et al. (1996) ont comparé les résultats des enfants ayant bénéficié du neurofeedback à ceux d'un groupe en liste d'attente sur une mesure de QI. Seuls les

enfants du groupe entraîné ont présenté une amélioration significative (9 points en moyenne;  $F(1, 16) = 6.41, p = .02$ ).

*Utilisation du neurofeedback pour réduire les difficultés comportementales chez les personnes présentant un TDAH.*

Les effets du neurofeedback sur les symptômes comportementaux associés au TDAH sont plus éloquents que ceux sur le fonctionnement intellectuel.

L'étude de Monastra, Monastra et George (2002) est parmi les plus convaincantes. Les chercheurs ont comparé deux groupes d'enfants qui ont un TDAH et qui ont chacun bénéficié d'un programme d'intervention multimodal (médication, counselling parental et support académique), enrichi ou non de neurofeedback ( $n = 100$  à parts égales dans les deux conditions). Les résultats pour l'évaluation sous médication (apparemment uniquement en post test, sans tenir compte des scores en pré-test) montrent que les enfants du groupe avec neurofeedback diminuent significativement leurs symptômes comportementaux associés au TDAH par rapport aux enfants n'ayant pas reçu de neurofeedback (questionnaire ADDES, version parent, variable inattention:  $F(1, 98) = 177.62, p < .001$ ; variable hyperactivité-impulsivité:  $F(1, 98) = 23.18, p < .001$ ; version enseignant, variable inattention:  $F(1, 98) = 821.30, p < .001$ ; hyperactivité-impulsivité:  $F(1, 98) = 52.49, p < .001$ ). De plus, la moyenne des résultats en post-test aux questionnaires comportementaux effectués alors que les enfants n'étaient pas sous médication correspond à un score qui n'est pas considéré « clinique » (différence entre les groupes pour la condition sans médication: questionnaire ADDES, version parent, variable inattention:  $F(1, 98) = 239.54, p < .001$ ; variable hyperactivité-impulsivité:  $F(1, 98) = 37.81, p < .001$ ; version enseignant, variable inattention:  $F(1, 98) = 1313.13, p < .001$ ; hyperactivité-impulsivité:  $F(1, 98) = 91.02, p < .001$ ).

Bien que les résultats de cette recherche soient convaincants, des questionnements persistent sur l'efficacité réelle du neurofeedback, même par rapport à cette étude de Monastra et al (2002). Par exemple, il se pourrait que le surplus de prise en charge, le cérémonial technique et le contrôle acquis sur l'EEG puissent avoir contribué à l'acquisition d'un sentiment de contrôle et une meilleure confiance en soi qui pourraient rendre compte, du moins partiellement, de ces résultats. Seule une étude avec une

condition placebo permettrait de juger de la validité d'une telle hypothèse. Finalement, selon certains, tels que Loo et Barkley (2005), l'attribution non au hasard des sujets (les parents des enfants avaient le choix du groupe, soit avec ou sans neurofeedback) constitue un biais défavorable. Toutefois, on ne voit pas comment les facteurs déterminant le choix des parents soient suffisants pour expliquer à eux seuls les résultats de cette étude.

Kropotov, Grin-Yatsenko, Ponomarev, Chutko, Yakovenko et Nikishena (2007) rapportent aussi des modifications comportementales significatives en post-test chez les enfants présentant un TDAH ayant appris à modifier leur EEG en cours de séance (groupe de répondeurs = 71 des 86 enfants qui ont réussi à modifier leur EEG pendant la séance de neurofeedback vs les non-répondeurs; SNAP-4, questionnaires parents, variable inattention:  $p < .01$ ; variable hyperactivité-impulsivité:  $p < .05$ ). Bien que l'EEG ne présente aucune modification significative en post-test, des changements significatifs sont observés au niveau des potentiels évoqués (PE) et des réponses de synchronisation/désynchronisation de l'EEG à l'exécution d'une tâche de Go-NoGo chez les sujets classés comme répondeurs. Les auteurs suggèrent ici que la normalisation de l'EEG, en dehors des séances de neurofeedback, ne serait pas nécessaire pour observer des modifications comportementales (Kropotov et al., 2007). D'autres chercheurs appuient cette conclusion et vont même jusqu'à suggérer que les questionnaires comportementaux soient considérés comme étant la seule mesure nécessaire d'efficacité du neurofeedback (Arns, de Ridder, Strehl, Breteler, & Coenen 2009). D'ailleurs, dans une méta-analyse, ces derniers confirment une « grande taille d'effet » du neurofeedback sur les comportements mesurés par des questionnaires concernant l'impulsivité et l'inattention (variable inattention: taille d'effet  $d = 0.81$ ; variable impulsivité: taille d'effet  $d = 0.69$ ), alors que la taille d'effet est modérée pour l'hyperactivité (taille d'effet  $d = 0.40$ ).

Par ailleurs, certains ont tenté de comparer le neurofeedback à la médication psychostimulante dans le traitement des symptômes comportementaux du TDAH. Les résultats publiés tendent à confirmer l'équivalence des deux traitements (Arns et al., 2009; Fuchs et al., 2003). Toutefois, bien qu'il soit pertinent de démontrer l'équivalence du neurofeedback à la médication psychostimulante, l'absence d'un groupe en liste

d'attente ne nous permet pas de conclure que les améliorations rapportées soient entièrement attribuables aux traitements (effets possibles de test-retest, etc.).

D'autres chercheurs ont tenté d'isoler les effets spécifiques du neurofeedback en les comparant à ceux d'un entraînement attentionnel informatisé chez des enfants présentant un TDAH et ne prenant aucune médication (Gevensleben et al., 2009). L'assignation des sujets s'est faite au hasard (ratio de 2 pour 1 en neurofeedback) et les conditions d'entraînement des deux groupes étaient très similaires de façon à pouvoir les comparer aisément. On rapporte des améliorations aux échelles comportementales (échelle allemande d'évaluation du TDAH, FBB-HKS) complétées par les parents et enseignants significativement plus importantes pour le groupe ayant reçu le neurofeedback que pour le groupe contrôle (questionnaires parents:  $t(91) = 2.88, p < .005$ ; questionnaires enseignants:  $t(60) = 2.55, p < .01$ ). Six mois plus tard, les améliorations objectivées aux questionnaires comportementaux ne se sont pas atténuées pour le groupe ayant bénéficié du neurofeedback (interaction temps (post et suivi) x groupe absente:  $F(1, 58) = 0.01$ ; mais effet de groupe significatif,  $F(1, 58) = 10.10, p < .005$ ; Gevensleben et al., 2010). Ces résultats paraissent très convaincants, notamment parce que les auteurs ont pu objectiver un maintien des acquis dans le temps. Toutefois, bien que ces chercheurs aient souhaité isoler les effets spécifiques du neurofeedback, la démonstration de ces effets n'est que partielle, n'excluant pas que le neurofeedback ait un effet placebo plus important que l'entraînement informatisé. Pour vraiment isoler les effets du neurofeedback, nous croyons que le recours à un « vrai » placebo de neurofeedback soit nécessaire.

*Études de l'effet placebo dans le traitement de neurofeedback chez les enfants présentant un TDAH.*

Il faut reconnaître que le recours à un placebo en neurofeedback n'est pas simple, parce que les conditions doivent être telles que les sujets ne puissent savoir, autrement que par les effets du traitement, si la rétroaction reçue est réelle ou non. Pour ce faire, la présentation de la rétroaction doit être convaincante et réaliste (par exemple, le feedback

devrait cesser si une électrode se décolle)<sup>2</sup>. À notre connaissance, seules trois études ayant eu recours à une condition de neurofeedback placebo avec une clientèle pédiatrique présentant un TDAH ont été publiées.

La première étude, est celle d'Heywood et Beale (2003) dont la condition dite placebo consistait en un vrai feedback, mais de bandes de fréquences sélectionnées au hasard et utilisées pour quelques séances seulement (pour ensuite leur en substituer d'autres et ainsi de suite). Les sept participants, dont deux abandons en cours d'étude, ont tous été soumis à quelques séances de la ligne de base (séances d'évaluation sans enregistrement de l'EEG) pour ensuite recevoir des séances de placebo et de vrai neurofeedback. Les chercheurs ont donc eu recours à une méthodologie d'alternance des conditions selon la séquence suivante: ligne de base-placebo-neurofeedback-placebo-neurofeedback, sans prévenir les participants des changements ou du nombre de séances alloué à chacune des conditions. Lorsque les chercheurs incluent dans leurs analyses statistiques les résultats de tous les participants, dont ceux ayant abandonné, l'effet en faveur du vrai neurofeedback sur les mesures comportementales n'est pas significatif (les chercheurs ont utilisé un score composite regroupant les résultats sur divers questionnaires comportementaux dont les CBCL et DuPaul ainsi que des tests psychométriques, voir l'article pour la description des résultats). Toutefois, lorsque les données des participants n'ayant pas complété le projet sont exclues, les chercheurs observent des améliorations comportementales significatives à la condition de neurofeedback par rapport à la condition placebo. Puisque Heywood et Beale (2003) ont choisi d'inclure les données des participants qui ont abandonné en cours du projet, ils concluent que le neurofeedback n'est pas plus efficace que la condition placebo. Ils suggèrent aussi que les effets significatifs et bénéfiques du neurofeedback rapportés dans les études antérieures pourraient être attribuables à divers facteurs non-spécifiques (prise en charge, suivi régulier, motivation) et à la non-inclusion des sujets n'ayant pas bénéficié du traitement ou ayant abandonné.

Sur la base de ces résultats, et contrairement aux chercheurs Heywood et Beale, nous ne pouvons conclure de façon définitive à l'inefficacité du neurofeedback ou à

---

<sup>2</sup> Une discussion plus approfondie de la méthodologie utilisée pour cette thèse dans l'étude de la spécificité des effets du neurofeedback est fournie à l'appendice B.

l'absence d'un effet placebo. L'interprétation des résultats demeure discutable et nous sommes même d'avis qu'ils sont plutôt favorables au neurofeedback puisqu'ils font état d'améliorations comportementales significatives chez les participants ayant complété le programme d'entraînement.

La deuxième étude avec condition de neurofeedback placebo chez les enfants présentant un TDAH, est celle de Perreau-Linck, Lessard, Lévesque et Beauregard (2010). L'étude à simple insu objective des améliorations individuelles cliniquement significatives aux échelles comportementales (Conners, version parent) pour tous les enfants, tant ceux du groupe placebo et ceux du groupe neurofeedback. La description de la condition placebo dans l'article est succincte, mais le protocole semblait suffisamment convaincant pour qu'à la fin du projet, la plupart des parents (tous sauf un qui était absent à la rencontre) avouent ne pas connaître la condition à laquelle leur enfant avait été attribué. Bien que par ce projet, les auteurs aient voulu tenir compte de diverses critiques sur la recherche en neurofeedback en incluant une condition placebo et en attribuant les sujets au hasard, le très petit nombre de sujets (5 placebo, 4 neurofeedback, dont 1 abandon dans chacune des catégories) et l'absence d'un groupe en attente pour permettre de distinguer l'effet test-retest des effets dits placebo, limitent la portée des résultats. Tout comme le soulignent les auteurs, les explications possibles des améliorations observées peuvent provenir d'une multitude de source (maturation des sujets; effet du hasard ou d'un test-retest; ...). De plus, l'efficacité du protocole d'entraînement de neurofeedback n'a pas été vérifiée avant l'étude avec la condition placebo. On ne peut donc pas exclure que les modalités d'entraînement choisies (tel que le fait de recevoir deux séances de 60 minutes d'entraînement dans une même journée) ne soient tout simplement pas efficaces. Il nous paraît utile et surtout éthique (pour ne pas soumettre inutilement des participants à une condition placebo d'un traitement non efficace) de pouvoir documenter l'efficacité du neurofeedback dans un premier temps pour ensuite déterminer s'il s'agit ou non d'un effet placebo.

Contrairement aux deux études précédentes, la troisième a été réalisée à double insu et les chercheurs ont eu recours à un plus grand échantillon, soit 56 enfants dont 18 non-médicamentés (deBeus & Kaiser, 2010). Tout comme pour Heywood et Beale (2003), les participants ont tous été exposés aux deux conditions de recherche (vrai

neurofeedback et placebo). Toutefois, pour respecter le double insu, les chercheurs et participants (ainsi que leurs parents) ignoraient s'ils bénéficieraient du « vrai » traitement de neurofeedback en première ou en seconde partie de l'étude. Les participants ont été répartis au hasard à l'un des deux groupes, soit celui pour lequel la condition traitement précédait la condition placebo, et l'autre pour lequel la condition placebo précédait le vrai traitement. Le feedback était intégré à un jeu vidéo de voitures de course sur la console Playstation de Sony. Des améliorations significatives sont rapportées à une épreuve attentionnelle et au questionnaire comportemental (Conners) complété par les enseignants pour les enfants ayant réussi à modifier leur EEG ( $t(50) = -2.97, p < .005$ ). Toutefois, bien que le choix du double insu combiné à l'inclusion d'une condition placebo soit des plus pertinents, nous demeurons perplexe quant au choix des analyses statistiques des chercheurs ainsi que des résultats qui en découlent. Ainsi, les auteurs ont regroupé les mesures de tous les participants, sans se préoccuper de l'ordre des conditions auquel ils ont été soumis. Par exemple, les résultats aux questionnaires comportementaux avant et après le faux traitement (condition placebo) ont été utilisés, peu importe que le faux traitement ait été présenté en premier ou en deuxième. Ceci veut donc dire que les auteurs estiment que l'effet placebo possible peut être mesurable même après un vrai traitement. Nous pensons qu'il aurait été informatif de fournir au lecteur les données permettant de comparer les effets du placebo par rapport au vrai traitement avant le changement de conditions des sujets. De façon surprenante, les chercheurs n'observent aucune différence entre les conditions neurofeedback et placebo aux questionnaires complétés par les parents. Les auteurs attribuent ceci aux attentes des parents par rapport au traitement (effet dit placebo). Il est toutefois possible que ceci ne soit le reflet que d'un simple effet de test-retest et un groupe en attente aurait permis de confirmer cette hypothèse. De plus, le nombre d'abandons (25%) en cours de projet nous semble élevé. Il est possible qu'une étude de type « inversion de traitement » soit plus propice aux abandons, les sujets ayant déjà bénéficié du vrai traitement étant plus enclins à abandonner lorsqu'en condition placebo.



*Synthèse des effets du neurofeedback auprès des personnes présentant un TDAH.*

Globalement, la mesure de l'impact d'une intervention de neurofeedback chez les enfants présentant un TDAH demeure variable. Néanmoins, certains résultats montrent que la médication et le neurofeedback apportent des améliorations sensiblement comparables sur le fonctionnement intellectuel de même qu'au niveau du comportement (Fuchs et al., 2003). De plus, certains chercheurs rapportent une normalisation clinique des comportements à divers questionnaires comportementaux à la suite d'un entraînement de neurofeedback (Lévesque, Beauregard, & Mensour, 2006; Linden et al., 1996; Monastra et al., 2002; Rossiter, 2004). Une normalisation des structures neuronales impliquées dans la présentation des symptômes du TDAH a aussi été objectivée à la suite de ce traitement (Lévesque et al., 2006). Finalement, le maintien des effets bénéfiques a également été rapporté, du moins pour une durée de 6 mois (Gevensleben et al., 2010).

Malgré tout, des questionnements persistent, notamment sur les effets spécifiques du neurofeedback. D'ailleurs, la communauté scientifique demeure quelque peu critique en ce qui a trait aux études sur le neurofeedback et recommande l'étude des effets non-spécifiques par l'inclusion d'une condition placebo (Barkley, 1998; Baydala & Wikman, 2001; Loo & Barkley, 2005; Vernon et al., 2004). Le recours à un groupe placebo à double insu nous paraît tout à fait justifié pour isoler les effets spécifiques du neurofeedback et éliminer les explications alternatives telles la relation thérapeutique et les nombreuses récompenses offertes à l'enfant (ainsi que le traitement des parents). Toutefois, à l'heure actuelle, les résultats publiés dans le cadre des quelques recherches respectant ces critères ne sont pas concluants (deBeus & Kaiser, 2010; Heywood & Beale, 2003; Perreau-Linck et al., 2010). En effet, la non-réplication de résultats significatifs dans certains cas, l'absence de résultat favorisant l'une ou l'autre des conditions dans d'autres cas, ainsi que certaines faiblesses méthodologiques (interprétation des données, protocole d'entraînement non traditionnel, inversion de conditions, simple insu, absence d'un groupe en liste d'attente...) ne permettent pas une conclusion solide quant à l'efficacité et la spécificité du neurofeedback.

Puisque, d'une part, peu de recherches ont réussi à démontrer l'efficacité du neurofeedback dans le traitement des symptômes du TDAH et que, d'autre part, seulement une étude avec condition placebo a réussi à départager les effets du



neurofeedback des effets placebo (deBeus & Kaiser, 2010), la poursuite de la recherche dans ce domaine demeure essentielle. Ceci est d'autant plus vrai que l'intérêt pour le neurofeedback est croissant, tant dans la population générale qu'auprès des cliniciens. Afin de confirmer l'efficacité de cet outil d'intervention et d'approfondir nos connaissances sur son fonctionnement, nous proposons une étude à double insu avec un groupe placebo et un autre en liste d'attente, qui a pour objectif de vérifier les effets du neurofeedback (entraînement de type RSM-Thêta à C4) sur les mesures comportementales et sur le fonctionnement intellectuel des enfants présentant un TDAH.

## CHAPITRE II

### Objectifs et Hypothèses de Recherche

Tel que spécifié à l'avant-propos, rappelons que les résultats de recherche dont il est question dans la présente thèse ont été obtenus dans le cadre d'une recherche plus vaste et au cours de laquelle d'autres données ont été analysées qui portaient notamment sur les effets du neurofeedback aux mesures psychométriques de l'attention et des fonctions exécutives ainsi que sur l'EEG. Nous référons le lecteur à la thèse de Madame Caroline Picard pour connaître ces résultats.

Cela dit, la présente étude vise à évaluer l'efficacité spécifique d'une intervention de neurofeedback (entraînement à C4, soit au-dessus du cortex sensorimoteur droit, visant le renforcement du RSM de 12-15 Hz et la diminution des ondes Thêta de 4-8 Hz) sur les symptômes comportementaux et le fonctionnement intellectuel d'enfants présentant un TDAH. Pour ce faire, les enfants sont répartis au hasard dans trois groupes expérimentaux, soit un groupe neurofeedback, un groupe placebo et un groupe en liste d'attente constitué d'enfants avec un TDAH, mais qui ne reçoivent aucun traitement particulier autre qu'une médication psychostimulante.

Les hypothèses suivantes sont posées:

- Les symptômes comportementaux associés au TDAH diminueront significativement chez les enfants du groupe neurofeedback comparativement à ceux des groupes placebo et en liste d'attente.
- Le fonctionnement intellectuel sera significativement amélioré chez les enfants du groupe neurofeedback comparativement aux enfants des groupes placebo et en liste d'attente.

Cette recherche fut effectuée en deux temps<sup>3</sup>. Préalablement à l'expérimentation principale (comparant les groupes neurofeedback, placebo et attente), une expérimentation pilote a été réalisée (comparant les groupes, neurofeedback et attente) pour les raisons suivantes:

---

<sup>3</sup> Un tableau représentant le schème expérimental est présenté à l'appendice C.

- Permettre d'identifier quelles variables comportementales et intellectuelles sont en mesure de refléter les effets du neurofeedback (selon le protocole sélectionné, soit un entraînement RSM/Thêta à C4).
- Recueillir des données EEG, sous neurofeedback, nécessaires à la préparation de la condition placebo de l'expérimentation principale.
- Essayer, malgré une faible puissance statistique en raison notamment de la prise en compte du très grand nombre de variables examinées, de déterminer déjà si le traitement de neurofeedback proposé, avec le protocole utilisé (RSM/Thêta à C4), peut être considéré comme un traitement efficace des symptômes du TDAH.

La méthodologie et les résultats de ces deux expérimentations sont présentés sous les titres Expérimentation 1 (étude pilote, au Chapitre III) et Expérimentation 2 (étude principale, au Chapitre IV).

## CHAPITRE III

### Expérimentation 1

#### *Méthodologie*

##### *Participants*

Quinze enfants avec un TDAH sont recrutés, dont deux filles et treize garçons. Il n'y a eu aucune attrition au cours de l'expérimentation. Tous les participants ont reçu préalablement un diagnostic de TDAH par leur médecin traitant et par un psychologue (ou neuropsychologue) dont le rapport doit, en plus de confirmer le TDAH, confirmer un fonctionnement intellectuel normal. De plus, tous les participants reçoivent une médication psychostimulante telle que prescrite par leur médecin traitant. L'âge des participants varie de huit à treize ans au moment des pré-tests. Les enfants présentant des comorbidités ne sont pas exclus pourvu que le diagnostic principal soit celui du TDAH (sous-types mixte ou hyperactif-impulsif). Lors d'un bref examen électroencéphalographique de trois minutes (électrode active à Cz), effectué lors des pré-tests, les participants doivent présenter un ratio d'activité Thêta/Bêta (4-8 Hz/16-20 Hz) en  $\mu\text{V}$  supérieur ou égal à 2.5. Les critères d'exclusion sont: perte de conscience de plus de 20 minutes; entraînement de neurofeedback antérieur; intervention concomitante autre que pharmacologique; trouble épileptique; traitement pharmacologique sous atomoxetine (étant donné l'effet d'action à plus long terme de cette médication, il est difficile d'évaluer ponctuellement les capacités sans l'effet de cette médication, comparativement aux psychostimulants tels que méthylphenidate et amphétamine dont les effets d'action sont de courte durée).

Les participants sont recrutés à la Clinique des troubles de l'attention (CTA) de l'Hôpital Rivière des Prairies ainsi que dans la communauté par le biais de listes d'envoi et de groupes communautaires tel que PANDA. Les enfants sélectionnés habitent la région montréalaise (Montréal et ses banlieues) et sont scolarisés en français.

##### *Attribution des participants.*

La répartition des participants est effectuée au hasard dans deux groupes expérimentaux équivalents pour l'âge, le sexe, le quotient intellectuel (obtenu en pré-test,

sans l'effet de la médication) et le ratio du dosage de la médication/poids, soit un groupe en liste d'attente (1 fille, 6 garçons) et un groupe traitement de neurofeedback (1 fille, 7 garçons). Un tableau descriptif des participants se trouve à l'appendice D.

### *Instruments*

#### *Évaluations pré-test et post-test.*

Trois questionnaires comportementaux<sup>4</sup> sont complétés par les parents en pré et post-tests. Ces questionnaires sont choisis puisqu'ils font partie de la batterie d'évaluation standardisée de la CTA. Aussi, seules les sous-échelles de ces questionnaires portant sur les symptômes du TDAH sont sélectionnées a priori. Une échelle d'intelligence pour enfants est également administrée en pré et post-test. À noter que l'usage des scores T et des scores standardisés est privilégié parce que ces scores tiennent compte de l'âge et sont normalement distribués dans la population générale; dans le cas où ils ne sont pas disponibles, les scores centiles, tenant compte de l'âge, mais distribués uniformément plutôt que normalement dans la population, sont utilisés; dans le cas où aucun de ces scores n'est disponible, les scores bruts sont alors utilisés:

1. DuPaul: ADHD rating scale (DuPaul, Power, Anastopoulos, & Reid, 1998). Il s'agit d'une échelle comportementale utilisée pour le diagnostic du TDAH. Cette échelle est traduite en français et normée pour les filles et garçons de 5 à 17 ans. Elle est composée de 18 items qui portent sur les symptômes du TDAH. Le DuPaul a été développé à partir des critères diagnostiques du TDAH du DSM-IV. Les versions parent et enseignant de ces échelles sont utilisées. Les données en centiles sont analysées dans le cadre de la présente thèse.
2. SDQ: Strengths and Difficulties Questionnaires (Goodman, 1997). Échelle comportementale traduite en français et utilisée pour le dépistage de difficultés comportementales diverses. Le SDQ est composé de 25 items regroupés sous cinq thèmes principaux (symptômes émotifs; troubles de la conduite; hyperactivité-inattention; problèmes dans la relation interpersonnelle; comportements prosociaux). Seuls les résultats (scores bruts) aux échelles Troubles de la conduite et Hyperactivité-inattention sont analysés.

---

<sup>4</sup> Une copie de ces questionnaires se trouve à l'appendice E.

3. CBCL: Child Behavior Checklist (Achenbach & Rescorla, 2001). Il s'agit d'une échelle comportementale traduite en français dont les versions pour parent et enseignant ont été normées pour les 6 à 18 ans. Cette échelle permet l'évaluation de troubles divers telles que les difficultés comportementales, troubles affectifs et le TDAH par le biais de plus de 112 items. Les résultats sont regroupés sous 20 compétences-problématiques pour lesquelles il y a des normes. Seuls les scores T des sous-échelles Syndromes Problèmes attentionnels, Bris de règles, Agressivité et les sous-échelles DSM Problèmes TDAH, Opposition-défiant, Troubles de la conduite sont analysés.
4. WISC-IV: Quatrième version du Weschler Intelligence Scale for Children (version francophone-recherche, 2004). Les sous-tests obligatoires sont administrés et les scores standardisés tirés des normes canadiennes anglaises sont utilisés.

#### *Entraînements.*

1. Les séances sont réalisées à partir d'un ordinateur de table (Pentium 4).
2. Les enregistrements EEG sont faits à l'aide d'un encodeur P2 de la compagnie Thought Technology Inc. en utilisant un montage d'électrodes référentiel dont l'électrode active est installée à C4, situé au dessus du cortex moteur de l'hémisphère droit, l'électrode référence à l'oreille gauche et la mise à la terre à l'oreille droite.
3. La rétroaction est supportée par le logiciel Biograph Infiniti de Thought Technology Inc. (version 2.5) à l'aide de stimuli visuels et auditifs divers<sup>5</sup>.

#### *Procédure*

##### *Pré-tests et post-tests.*

Les parents des enfants participants complètent dans un premier temps des questionnaires développemental et socio-économique maison. Ensuite, toutes les mesures nécessaires au projet sont administrées à deux reprises, soit en pré-test (préalablement aux entraînements) et en post-test (peu après la fin des entraînements). Deux types de

---

<sup>5</sup> Des exemples d'écrans présentés lors des entraînements se trouvent à l'appendice F.

mesures sont utilisés. Premièrement, un des deux parents (plus souvent la mère) de chaque participant ainsi que son enseignant(e) complètent chacun les trois échelles d'évaluation comportementale (versions « parent » et enseignant, respectivement) d'après leurs observations de l'enfant dans la dernière semaine, alors qu'il est sous l'effet de sa médication psychostimulante. Deuxièmement, le test de fonctionnement intellectuel global (WISC-IV) est administré individuellement à tous les enfants par des évaluateurs expérimentés et aveugles à la question de recherche, c'est-à-dire qu'ils ne connaissent ni la question de recherche, ni l'attribution des sujets aux divers groupes. Les enfants ne doivent pas avoir pris leur médication psychostimulante la journée de cette évaluation.

### *Entraînements.*

Les participants du groupe neurofeedback reçoivent 40 séances individuelles et standardisées de neurofeedback; l'entraîneur est l'auteure de la présente thèse (certifiée en neurofeedback par le Biofeedback Certification Institute of America). Cet entraînement suit de près le protocole standard utilisé par L. et M. Thompson au A.D.D. Centre de Mississauga, Ontario <sup>6</sup>. Une séance typique se déroule généralement comme suit: Au début de la séance, l'enfant est accueilli par l'entraîneur qui lui installe les électrodes sur la tête ainsi que sur les lobes d'oreilles. Ces électrodes sont reliées à un petit transformateur (Encodeur P2) relié à un ordinateur. L'enfant s'assoit ensuite face à l'écran d'ordinateur sur lequel il se verra présenter des stimuli visuels (diverses séquences vidéo qui s'animent lorsque l'enfant se trouve dans l'état mental recherché, des exemples sont présentés à l'appendice G). Des renforcements sonores (« ding » et musique) sont également donnés au même moment que les stimuli visuels. L'enfant doit donc tenter de trouver l'état mental recherché et le maintenir pour faire jouer la musique et l'animation ainsi que pour gagner des points. Chaque séance comporte des essais de quelques minutes entre lesquels l'entraîneur revient sur la performance de l'enfant avec lui. Éventuellement, on ferme l'écran ou la sortie audio pendant un essai et demandera à l'enfant de trouver l'état souhaité sans l'aide de ces renforcements.

---

<sup>6</sup> Un bref survol des paramètres d'entraînement utilisés dans le cadre de la recherche en neurofeedback est présenté à l'appendice G.

La durée active de traitement au cours d'une séance varie de 29 à 42 minutes (augmentation progressive des temps d'entraînement actif de neurofeedback) pour un total de 23,1 heures. Les séances se déroulent à un rythme de trois par semaine échelonnées sur environ trois mois. À chaque séance, le comportement de participation active est renforcé par un système de jetons dont le nombre est prédéterminé pour chaque séance et équivalent d'un participant à l'autre. Mentionnons que les participants ne sont pas informés de la standardisation des jetons. Ces jetons sont cumulables et échangeables contre des certificats-cadeaux de 10\$ du commerce de leur choix, tous les participants ont reçu au total quatre certificats. Les entraîneurs demandent aux enfants de demeurer calmes et concentrés tout en relaxant leurs muscles.

Un niveau EEG de base d'une durée de deux minutes est obtenu au début de chaque séance pour déterminer de façon automatique les seuils de renforcement de chaque bande de fréquences d'après le 60<sup>e</sup> centile d'amplitude de chacune de ces bandes dans la direction désirée (pour permettre un renforcement au moins 60% du temps). Le calcul des seuils est effectué par le logiciel Biograph Infiniti de Thought Technology. Les entraînements visent à augmenter l'amplitude des ondes RSM (12-15Hz) et à diminuer celles des ondes Thêta (4-8Hz) et 52-58Hz (associé à l'activité motrice EMG émanant de contractions musculaires sur la tête, détectée dans cette bande de fréquences, mais qui affecte toutes les bandes et pourrait simuler une augmentation du RSM si on ne l'empêchait pas) à C4.

### *Résultats de l'Expérimentation 1*

#### *Tests Statistiques*

Tout d'abord, il faut dire que les moyennes en pré-test de toutes les variables ne présentent aucune différence significative entre les groupes. Ceci permet de confirmer que les groupes sont équivalents et permet la comparaison des deux groupes en post-test.

Dans un deuxième temps, la symétrie des distributions est confirmée pour la majorité des variables en pré-test et en post-test. Toutefois, certaines variables nécessitent une transformation afin d'assurer une symétrie raisonnable des distributions (à défaut de distributions normales). Les transformations nécessaires ont été appliquées aux mesures



d'une même variable à la fois en pré-test et en post-test. Des transformations ont été nécessaires pour les variables suivantes:

1. SDQ-enseignant: Échelle des troubles comportementaux, transformée selon la formule  $Y = \log_{10}(X+1)$ .
2. CBCL-parent: Échelle Agressivité, transformée selon la formule  $Y = \log_{10}(X-45)$ .
3. CBCL-enseignant: Échelles Bris de règles, Agressivité, DSM Troubles de la conduite, transformées selon la formule  $Y = \log_{10}(X-45)$ .
4. DuPaul-parent: Échelles Inattention, Hyperactivité et Totale, transformées selon la formule  $Y = 2 - \log_{10}(102-X)$  qui garde la polarité initiale.
5. DuPaul-enseignant: Échelles Inattention, Hyperactivité et Totale, transformées selon la formule  $Y = 2 - \log_{10}(105-X)$ .

L'analyse de covariance (Ancova) est préférée à une simple analyse de variance (Anova) à mesures répétées puisqu'elle offre plus de puissance lorsque les données en pré et en post-test sont sujettes à une erreur de mesure. Ainsi, les analyses de variance des scores en post-test ont été faites en tenant compte des scores en pré-test correspondants (covariable). Notons que l'homogénéité des pentes de régression a été vérifiée dans tous les cas. Tous les tests sont unidirectionnels, la direction de l'effet étant postulée a priori. L'Ancova donne, en post-tests, les moyennes des groupes par rapport à la moyenne commune des groupes en pré-test.

La forme des données utilisées pour effectuer les tests statistiques diffère selon l'outil de mesure. Au SDQ, les scores bruts ont été utilisés puisqu'il s'agit des seules données disponibles. Au CBCL, les scores T sont préférés (a priori) aux scores bruts et aux centiles. Au DuPaul, les données en rangs centiles ont été choisies plutôt que les scores bruts. Au WISC-IV, ce sont les scores standardisés qui ont été utilisés.

Les données rapportées sont les moyennes, et leur écart-type, des scores pour chaque groupe en pré-test et post-test ainsi que les moyennes en post-test qui tiennent compte de la covariable en pré-test. Pour les données qui sont transformées, les moyennes et écarts-types des données transformées sont rapportées entre parenthèses et les moyennes retransformées dans l'unité de mesure initiale sont également présentées

dans les tableaux. La valeur du F, les degrés de liberté, les valeurs de probabilité unidirectionnelle ainsi que les tailles d'effet (êta-carré, soit le pourcentage de variance expliquée, où une petite taille d'effet = 0.01, modérée = 0.06 et grande = 0.14; Cohen, 1988) sont aussi présentées pour chaque variable.

Afin de répondre à l'un des objectifs de cette première expérimentation qui concerne la sélection des variables potentiellement sensibles aux effets du traitement, nous avons déterminé a priori que les variables dont la probabilité unidirectionnelle est égale ou inférieure à 0.10 seraient sélectionnées pour la deuxième expérimentation. Pour ce qui est de la possibilité de conclure déjà à une différence entre groupes, un critère de Bonferroni a été calculé a priori d'après le nombre de variables étudiées (critère très sévère puisqu'il considère le pire cas où les variables seraient toutes indépendantes) pour chacune des deux dimensions visées, soit .002 (.05 / 22) pour les questionnaires comportementaux et .003 (.05 / 15) pour les variables au WISC-IV.

Finalement, bien qu'il ait été possible de récupérer tous les questionnaires complétés par les parents, il n'en pas été de même pour les questionnaires complétés par les enseignants. Ainsi, un questionnaire SDQ, un questionnaire DuPaul et deux CBCL n'ont pas été retournés par les enseignants (tous du groupe traitement). De plus, les données de trois participants sont exclues des analyses statistiques effectuées pour les sous-tests verbaux du WISC-IV (Similitudes, Vocabulaire, Compréhension) ainsi que les résultats à la sous-échelle Compréhension verbale et l'échelle de QI Global pour les raisons suivantes: La langue maternelle anglaise d'un des participants et des scores anormalement élevés à ces sous-tests pour les deux autres participants dont les résultats se comportaient comme des données aberrantes. Il faut dire que ce sont des considérations de contenu qui ont signalé la présence de mesures aberrantes plutôt que des problèmes d'échelles de mesure appelant une transformation pour rapprocher les distributions d'une courbe normale. Les analyses avec ces deux sujets ont tout de même été menées a posteriori et sont présentées en notes aux tableaux lorsque pertinentes. Mentionnons que deux de ces participants sont du groupe neurofeedback et le troisième de la liste d'attente.

## *Résultats*

### *Échelle comportementale SDQ.*

Des analyses de covariance sont effectuées sur les différentes sous-échelles. Seule la sous-échelle « Troubles comportementaux » de la version parent satisfait le critère de sélection. Le Tableau I porte sur les questionnaires complétés par les parents et le Tableau II sur les questionnaires complétés par les enseignants.

Tableau I  
*Moyennes des scores bruts au SDQ, version parent, phase I*

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type	Post-test $\pm$ écart-type	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart-type	F(1, 12)	p	$\eta^2$
Troubles comportementaux							
Hyperactivité	Traité	3.50 $\pm$ 2.45	2.37 $\pm$ 1.51	2.15 $\pm$ 1.47	2.531	.069*	0.15
	Attente	2.29 $\pm$ 1.25	3.14 $\pm$ 1.68	3.40 $\pm$ 1.48			
	Traité	6.00 $\pm$ 1.31	5.75 $\pm$ 1.98	5.74 $\pm$ 2.02	1.455	.126	0.11
	Attente	6.57 $\pm$ 1.13	7.00 $\pm$ 1.83	7.02 $\pm$ 2.02			

\*Satisfait le critère de sélection,  $p \leq .10$

Tableau II  
*Moyennes des scores bruts au SDQ, version enseignant, phase 1*

Variable	Pré-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart- type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	F(1, 11)	p	$\eta^2$
Troubles comportementaux						
Traité	1.02 (0.30 $\pm$ 0.40)	0.81 (0.26 $\pm$ 0.37)	0.89 (0.28 $\pm$ 0.17)	0.156	.350	0.00
Attente	1.21 (0.34 $\pm$ 0.21)	1.13 (0.33 $\pm$ 0.29)	1.05 (0.31 $\pm$ 0.17)			
Hyperactivité						
Traité	4.71 $\pm$ 1.80	5.57 $\pm$ 2.30	6.17 $\pm$ 1.04	3.475	.956	0.05
Attente	5.71 $\pm$ 2.80	5.71 $\pm$ 2.43	5.12 $\pm$ 1.04			

*Échelle comportementale CBCL.*

Les Tableaux III (a et b, échelles Syndromes et échelles DSM respectivement) et IV (a et b) présentent les moyennes des scores T du CBCL pour les questionnaires complétés par les parents et les enseignants respectivement. Les sous-échelles des questionnaires complétés par les parents qui répondent au critère de sélection sont: « Syndromes » Problèmes attentionnels, Agressivité; « DSM » Problèmes TDAH, Problèmes opposition-défiant, Problèmes Troubles de la conduite. Quant aux scores des questionnaires enseignants (voir Tableaux IVa et b), seule la sous-échelle « Syndrome Agressivité » est retenue. Il est intéressant de noter que, sur cette mesure, la corrélation entre les scores ajustés obtenus sur les deux versions du questionnaire (parents et enseignants) est de 0.766 ( $p = .001$ ). La corrélation obtenue entre les répondants suggère que l'effet observé sur les comportements d'agressivité est réel et non pas un simple accident statistique.

Tableau IIIa

Moyennes des scores *T* au CBCL, version parent (échelles Syndromes), phase 1

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart- type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	F(1, 12)	p	$\eta^2$
Problèmes attentionnels							
Bris de règles	Traité	65.13 $\pm$ 4.39	58.50 $\pm$ 4.78	58.86 $\pm$ 4.23	20.221	<.0005*†	0.52
	Attente	67.86 $\pm$ 6.82	69.29 $\pm$ 3.68	68.87 $\pm$ 4.24			
Agressivité	Traité	58.50 $\pm$ 7.29	56.75 $\pm$ 7.34	57.21 $\pm$ 5.33	0.206	.329	0.01
	Attente	60.43 $\pm$ 7.66	59.00 $\pm$ 5.03	58.47 $\pm$ 5.34			
Problèmes somatisés	Traité	63.62	57.30	57.02			
	Attente	61.98	63.20	64.05			
Anxiété	Traité	(1.27 $\pm$ 0.21)	(1.09 $\pm$ 0.24)	(1.08 $\pm$ 0.14)	7.679	.0085*	0.21
	Attente	(1.23 $\pm$ 0.19)	(1.26 $\pm$ 0.19)	(1.28 $\pm$ 0.14)			

\*Satisfait le critère de sélection,  $p \leq .10$

†: Satisfait le critère de Bonferroni,  $p \leq .002$

Tableau IIIb

Moyennes des scores *T* au CBCL, version parent (échelles DSM), phase 1

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type	Post-test $\pm$ écart-type	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart-type	F(1, 12)	p	$\eta^2$
TDAH							
	Traité	65.62 $\pm$ 5.42	57.25 $\pm$ 4.50	57.64 $\pm$ 3.53	36.189	< .0005*†	0.57
	Attente	67.57 $\pm$ 7.98	69.14 $\pm$ 4.41	68.69 $\pm$ 3.53			
Opposition-défiance							
	Traité	64.25 $\pm$ 9.68	57.13 $\pm$ 6.08	57.20 $\pm$ 4.94	8.118	.0075*	0.28
	Attente	64.57 $\pm$ 6.27	64.57 $\pm$ 6.50	64.49 $\pm$ 4.94			
Trouble de la conduite							
	Traité	60.00 $\pm$ 9.27	58.25 $\pm$ 7.65	57.70 $\pm$ 5.40	1.969	.093*	0.08
	Attente	57.86 $\pm$ 7.99	61.00 $\pm$ 6.32	61.63 $\pm$ 5.40			

\*Satisfait le critère de sélection,  $p \leq .10$ †: Satisfait le critère de Bonferroni,  $p \leq .002$



Tableau IVa

Moyennes des scores *T* au CBCL, version enseignant (échelles Syndromes), phase 1

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart- type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	F(1, 10)	p	$\eta^2$
Problèmes attentionnels							
Bris de règles	Traité	57.00 $\pm$ 5.90	58.83 $\pm$ 6.43	60.48 $\pm$ 3.12	0.341	.714	0.01
	Attente	59.43 $\pm$ 4.61	60.86 $\pm$ 7.80	59.45 $\pm$ 3.12			
Bris de règles	Traité	53.94	54.93	55.21			
	Attente	(0.95 $\pm$ 0.33)	(1.00 $\pm$ 0.31)	(1.01 $\pm$ 0.14)	0.058	.593	0.00
Agressivité	Traité	54.56	55.01	54.77			
	Attente	(0.98 $\pm$ 0.29)	(1.00 $\pm$ 0.24)	(0.99 $\pm$ 0.14)			
Agressivité	Traité	59.11	57.29	54.93			
	Attente	(1.15 $\pm$ 0.33)	(1.09 $\pm$ 0.24)	(1.00 $\pm$ 0.19)	6.016	.017*	0.36
	Traité	57.66	63.13	63.32			
	Attente	(1.10 $\pm$ 0.21)	(1.26 $\pm$ 0.19)	(1.26 $\pm$ 0.19)			

\*Satisfait le critère de sélection,  $p \leq .10$

Tableau IVb

*Moyennes des scores T au CBCL, version enseignant (échelles DSM), phase 1*

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart- type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	F(1, 10)	p	$\eta^2$
TDAH							
	Traité	57.33 $\pm$ 5.75	60.17 $\pm$ 8.80	60.41 $\pm$ 4.30	1.067	.837	0.03
	Attente	57.71 $\pm$ 5.35	58.14 $\pm$ 6.59	57.94 $\pm$ 4.30			
Opposition-défiance							
	Traité	58.17 $\pm$ 9.39	58.33 $\pm$ 9.99	58.13 $\pm$ 4.56	0.000	.494	0.00
	Attente	57.71 $\pm$ 5.94	58.00 $\pm$ 5.03	58.17 $\pm$ 4.56			
Trouble de la conduite							
	Traité	55.42 (1.02 $\pm$ 0.36)	56.10 (1.05 $\pm$ 0.35)	56.27 (1.09 $\pm$ 0.28)	0.050	.642	0.00
	Attente	55.84 (1.03 $\pm$ 0.22)	55.58 (1.02 $\pm$ 0.19)	55.42 (1.06 $\pm$ 0.28)			

*Échelle comportementale DuPaul.*

Rappelons que les résultats aux trois sous-échelles du DuPaul sont en rangs centiles. Les tableaux V et VI présentent les moyennes des scores transformés et ceux en rang centiles. Les probabilités sont rapportées au Tableau V pour la version parent des questionnaires et au Tableau VI pour la version enseignant. Les résultats des trois sous-échelles des questionnaires complétés par les parents satisfont le critère de sélection en vue de la deuxième expérimentation. Toutefois, aucune sous-échelle des questionnaires complétés par les enseignants n'est retenue.

Tableau V

Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version parent, phase 1

Variable	Groupe	Post-test, scores corrigés par la covariable				p	$\eta^2$
		Pré-test (moyenne transformée ± écart-type)	Post-test (moyenne transformée ± écart-type)	(moyenne transformée ± écart-type)			
Hyperactivité							
	Traité	83.16 (0.72 ± 0.33)	65.07 (0.43 ± 0.27)	67.49 (0.46 ± 0.28)			
	Attente	86.72 (0.82 ± 0.34)	89.39 (0.90 ± 0.43)	88.39 (0.87 ± 0.28)	7.731	.0085*	0.24
Inattention							
	Traité	95.07 (1.16 ± 0.28)	85.46 (0.78 ± 0.48)	89.15 (0.89 ± 0.26)			
	Attente	97.58 (1.35 ± 0.14)	97.80 (1.38 ± 0.15)	96.39 (1.25 ± 0.26)	6.417	.013*	0.13
Totale							
	Traité	92.64 (1.03 ± 0.23)	79.97 (0.66 ± 0.34)	83.21 (0.73 ± 0.22)			
	Attente	94.98 (1.15 ± 0.20)	95.84 (1.21 ± 0.32)	94.62 (1.13 ± 0.22)	11.748	.0025*	0.22

\*Satisfait le critère de sélection,  $p \leq .10$

Tableau VI

*Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version enseignant, phase 1*

Variable	Groupe	Post-test, scores corrigés par la covariable			
		Pré-test (moyennes transformées $\pm$ écart-types)	Post-test (moyennes transformées $\pm$ écart-types)	(moyennes transformées $\pm$ écart-types)	F(1, 11)      p $\eta^2$
Hyperactivité					
Traité		58.50 (0.36 $\pm$ 0.27)	66.90 (0.45 $\pm$ 0.29)	66.35 (0.45 $\pm$ 0.18)	0.565      .766      0.02
Attente		57.31 (0.35 $\pm$ 0.18)	59.16 (0.37 $\pm$ 0.27)	59.83 (0.38 $\pm$ 0.18)	
Inattention					
Traité		65.27 (0.43 $\pm$ 0.26)	65.62 (0.44 $\pm$ 0.26)	72.28 (0.53 $\pm$ 0.11)	3.237      .951      0.05
Attente		76.56 (0.59 $\pm$ 0.28)	70.51 (0.50 $\pm$ 0.28)	63.45 (0.41 $\pm$ 0.11)	
Totale					
Traité		63.15 (0.41 $\pm$ 0.19)	67.83 (0.47 $\pm$ 0.24)	70.38 (0.50 $\pm$ 0.11)	2.666      .935      0.05
Attente		67.47 (0.46 $\pm$ 0.21)	65.31 (0.44 $\pm$ 0.25)	62.37 (0.40 $\pm$ 0.11)	

*WISC-IV.*

Le Tableau VIIa présente les moyennes en scores standardisés des divers sous-tests du WISC-IV. Le Tableau VIIb présente les moyennes des scores pondérés des sous-échelles ainsi que de l'échelle globale du WISC-IV. Rappelons que les données de trois participants ont été exclues des analyses statistiques effectuées pour les sous-tests verbaux du WISC-IV (Similitudes, Vocabulaire, Compréhension) ainsi qu'aux échelles de Compréhension verbale et Globale (voir p. 30 pour les détails). Seuls les résultats au sous-test Compréhension ainsi que le QI partiel Compréhension verbale satisfont le critère de sélection pour la deuxième expérimentation.

Tableau VIIa

*Moyennes des scores pondérés aux sous-tests du WISC-IV, phase 1*

Variable	Pré-test ± écart-type	Post-test ± écart-type	Post-test, scores corrigés par la covariable ± écart-type	F(1, 12) sauf exception	p	$\eta^2$
Blocs						
Traité	10.25 ± 2.71	11.50 ± 2.83	11.54 ± 1.99	0.089	.386	0.01
Attente	10.43 ± 1.90	11.29 ± 1.38	11.24 ± 1.99			
Similitud. **				F(1, 9) = 0.968	.583	0.08
Traité	8.67 ± 1.03	8.17 ± 1.17	8.38 ± 2.01			
Attente	10.50 ± 1.97	9.83 ± 2.23	9.62 ± 2.01			
S. de chiffres						
Traité	8.00 ± 1.51	7.75 ± 2.31	7.42 ± 2.36	0.441	.741	0.02
Attente	7.29 ± 2.06	7.86 ± 3.39	8.24 ± 2.36			
C. en images						
Traité	11.13 ± 2.17	11.38 ± 2.88	11.07 ± 2.39	0.051	.587	0.00
Attente	10.29 ± 2.69	11.00 ± 3.06	11.35 ± 2.39			
Code						
Traité	7.38 ± 3.07	8.13 ± 3.27	7.99 ± 2.06	0.619	.224	0.03
Attente	7.00 ± 1.15	7.00 ± 1.73	7.15 ± 2.07			
Vocabul. **				F(1, 9) = 0.285	.303	0.02
Traité	7.00 ± 1.67	7.67 ± 1.97	8.92 ± 3.20			
Attente	11.17 ± 2.04	9.00 ± 3.03	7.74 ± 3.20			
S. let-chif.						
Traité	7.88 ± 2.47	7.50 ± 2.88	7.74 ± 2.27	0.018	.448	0.00
Attente	8.43 ± 1.40	7.86 ± 2.91	7.58 ± 2.27			
Matrices						
Traité	8.50 ± 2.39	11.57 ± 4.39	10.71 ± 2.47	0.023	.560	0.00
Attente	10.29 ± 4.07	10.13 ± 1.81	10.91 ± 2.48			
Compréh. **				F(1, 9) = 1.988	.096*	0.10
Traité	7.17 ± 1.47	6.67 ± 2.07	8.16 ± 1.91			
Attente	10.17 ± 1.60	7.83 ± 2.14	6.34 ± 1.91			
R. symboles						
Traité	9.38 ± 2.67	9.25 ± 2.12	9.04 ± 2.12	1.425	.872	0.10
Attente	7.86 ± 2.34	10.14 ± 2.12	10.38 ± 2.12			

\*Satisfait le critère de sélection,  $p \leq .10$ \*\* Lorsque les analyses sont effectuées en incluant les résultats de deux des sujets exclus (résultats trop élevés), encore une fois seule la probabilité au sous-test « Compréhension » est significative ( $p = .049$  unilatéral) et satisfait donc toujours le critère de sélection

Tableau VIIb

*Moyennes des scores pondérés aux échelles du WISC-IV, phase I*

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart- type	Post-test $\pm$ écart-type	Post-test, scores corrigés par la covariable	F(1, 12) sauf exception	p	$\eta^2$
Compréhension verbale **							
	Traité	86.67 $\pm$ 2.66	86.00 $\pm$ 5.18	93.64 $\pm$ 6.97	F(1, 9) = 2.200	.086*	0.07
	Attente	103.83 $\pm$ 8.01	98.83 $\pm$ 8.28	86.20 $\pm$ 6.97			
Raisonnement perceptif							
	Traité	99.63 $\pm$ 11.62	106.88 $\pm$ 13.00	107.79 $\pm$ 9.35	0.579	.231	0.02
	Attente	102.00 $\pm$ 17.60	105.14 $\pm$ 17.18	104.10 $\pm$ 9.36			
Mémoire de travail							
	Traité	88.13 $\pm$ 6.56	86.25 $\pm$ 11.51	86.02 $\pm$ 9.77	0.130	.638	0.01
	Attente	87.57 $\pm$ 8.96	87.57 $\pm$ 11.94	87.84 $\pm$ 9.77			
Vitesse de traitement de l'information							
	Traité	91.13 $\pm$ 15.52	92.63 $\pm$ 13.56	91.34 $\pm$ 10.18	0.101	.622	0.01
	Attente	85.29 $\pm$ 8.85	91.57 $\pm$ 8.20	93.04 $\pm$ 10.20			
Globale **							
	Traité	86.83 $\pm$ 4.49	90.50 $\pm$ 6.95	92.71 $\pm$ 5.62	F(1, 9) = 1.755	.109	0.07
	Attente	91.50 $\pm$ 9.22	90.50 $\pm$ 10.00	88.29 $\pm$ 5.62			

\*Satisfait le critère de sélection,  $p \leq .10$ 

\*\* Lorsque les analyses sont effectuées en incluant les résultats des deux sujets exclus (résultats trop élevés), encore une fois seule la probabilité du quotient « Compréhension verbale » est significative ( $p = .001$  unilatéral) et satisfait donc toujours le critère de sélection



### *Conclusion de l'Expérimentation 1*

Cette première partie du projet a pour objectif de sélectionner des variables cibles pour la deuxième expérimentation. Rappelons que seules les variables libéralement significatives (probabilité unidirectionnelle  $\leq .10$ ) entre les groupes en post-test devaient être retenues pour analyse lors de la seconde expérimentation. Voici, à cet effet, les variables retenues.

Pour les questionnaires comportementaux complétés par les parents, les variables suivantes sont retenues:

- SDQ: Sous-échelle Troubles comportementaux
- CBCL: Sous-échelles des Syndromes Problèmes attentionnels, Agressivité; Sous-échelles « DSM » Problèmes TDAH, Problèmes opposant-défiant, DSM-Problèmes de la conduite
- DuPaul: Sous-échelles Hyperactivité, Inattention, Totale

Pour les questionnaires complétés par les enseignants, seule la sous-échelle Syndrome Agressivité du questionnaire CBCL a été retenue.

Au WISC-IV, seul le sous-test de « Compréhension » ainsi que le quotient partiel de « Compréhension verbale » répondent au critère de sélection préétabli. Toutefois, étant donné que les effets sur la performance au test d'intelligence constituent une question importante de ce projet de recherche, il a été décidé d'analyser les données à la deuxième expérimentation pour les variables suivantes: Échelles partielles de Compréhension verbale, Raisonnement perceptif, Mémoire de travail, Vitesse de traitement de l'information et Globale. Les résultats aux sous-tests du WISC-IV ne sont donc pas rapportés à l'expérimentation 2.

Quant à l'objectif de déterminer si le protocole choisi démontre déjà des effets crédibles du neurofeedback, il faut tenir compte des nombreuses variables étudiées. Puisque 22 variables comportementales ont été utilisées, une correction de Bonferroni (à partir d'un critère de .05, unidirectionnel) détermine que les variables dont le niveau de probabilité  $< .002$  peuvent démontrer l'efficacité de ce protocole de neurofeedback sur le comportement. Seules les sous-échelles Syndromes-Problèmes attentionnels et DSM-Problèmes TDAH du questionnaire CBCL complété par les parents satisfont ce critère de .002. Mentionnons que ces deux sous-échelles sont élaborées à partir d'items (ou

questions) dont plus de la moitié sont identiques (5 des 10 items de la sous-échelle Syndromes-Problèmes attentionnels sont les mêmes que 5 des 7 items de la sous-échelle DSM-Problèmes TDAH). Pour ce qui est de l'évaluation des fonctions intellectuelles, une correction de Bonferroni (à partir d'un critère de .05, unidirectionnel, calculé à partir de 15 variables) établit à .003 le seuil de probabilité par variable pour démontrer l'efficacité du protocole de neurofeedback utilisé. Aucune variable tirée de l'évaluation intellectuelle ne satisfait ce critère.

## CHAPITRE IV

### Expérimentation 2

#### *Méthodologie*

##### *Participants*

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont les mêmes à la deuxième expérimentation qu'à la première (décrits plus haut). L'âge des participants varie de sept à douze ans au moment des pré-tests. En tout, trente et un enfants et leurs parents sont recrutés pour cette deuxième expérimentation dont six sont des filles et vingt-cinq des garçons. Les parents et enfants sont informés de la question de recherche et de la possibilité de faire partie du groupe placebo. Toutefois, étant donné le double insu, ni les enfants, ni leurs parents, ni les chercheurs et ni les entraîneurs ne connaissent ou ne peuvent connaître l'attribution aux groupes pendant la durée des entraînements (pour les groupes neurofeedback et placebo). Tous les participants, leurs parents et entraîneurs en sont informés après l'administration des post-tests. À nouveau, nous ne rapportons aucune mortalité expérimentale. Un seul participant du groupe placebo a évoqué qu'il était probablement dans ce groupe puisqu'un message d'erreur, suite au décollement d'une électrode, s'est affiché à l'écran pendant un entraînement. Toutefois, bien que le participant ait deviné avec exactitude son attribution, le problème technique dont il a été victime n'a pu permettre de déterminer son attribution et son interprétation est sans fondement réel.

##### *Attribution des participants.*

Comme pour la première expérimentation, les participants sélectionnés sont attribués au hasard aux groupes expérimentaux, équivalents selon les critères d'âge, sexe, QI (score obtenu en pré-test) et ratio médication/poids (voir l'appendice D). Toutefois, comparativement à la première expérimentation, en plus du groupe liste d'attente (2 filles et 9 garçons) et du groupe neurofeedback (2 filles et 8 garçons), un troisième groupe est inclus, soit un groupe placebo (2 filles et 8 garçons). Mentionnons que les enfants des groupes en liste d'attente et placebo se font offrir le « vrai » traitement de neurofeedback à la fin du projet.

## *Instruments*

### *Pré-tests et post-tests.*

Les versions parent et enseignant des questionnaires sélectionnés à la suite de la première expérimentation sont de nouveau administrées en pré-test et post-test de cette deuxième expérimentation (version parent: SDQ, DuPaul, CBCL; version enseignant: CBCL).

La version francophone-recherche du WISC-IV (normes canadiennes anglaises) est aussi administrée en pré-test et post-test de la cette expérimentation, malgré que peu des variables de ce test n'aient satisfait le critère de sélection lors de la première expérimentation. Toutefois, puisqu'il a été déterminé a priori que cet outil serait utilisé, le QI constituant une des questions principales de recherche, seuls les résultats aux échelles partielles ainsi qu'à l'échelle globale seront analysés.

### *Entraînements des conditions neurofeedback et placebo.*

Les équipements et logiciels nécessaires aux entraînements sont les mêmes que lors de la première expérimentation.

## *Procédure*

### *Pré-tests et post-tests.*

L'administration des pré-tests et post-tests est identique à celle décrite pour la première expérimentation.

### *Entraînements.*

Les participants des groupes entraînés et placebo reçoivent 40 séances individuelles et standardisées. La moitié de ces enfants (5 neurofeedback et 5 placebo) ont comme entraîneur, Mme Caroline Picard. Bien que Mme Picard soit informée de la question de recherche et de l'existence d'une condition placebo, elle ignore l'attribution des sujets et ses connaissances techniques du logiciel et des instruments ne sont pas suffisantes pour lui permettre de la découvrir. L'autre moitié des participants (5 neurofeedback et 5 placebo) est entraînée par trois étudiants au doctorat en psychologie

dont les connaissances du neurofeedback sont limitées. De plus, ces entraîneurs sont aveugles à la question de recherche, ignorant même l'existence d'un groupe « placebo ».

Tout comme lors de la première expérimentation, la durée active d'entraînement des séances varie de 29 à 42 minutes, totalisant 23.1 heures. Les séances se déroulent à un rythme de trois par semaine, échelonnées sur plus ou moins trois mois. Un système de récompenses identique à celui utilisé à la première expérimentation est mis en place auprès des participants des deux groupes entraînés (neurofeedback et placebo). Le calcul des seuils se fait dans les mêmes conditions qu'à l'expérimentation précédente. Mentionnons toutefois que ces seuils ne servent pas dans la condition placebo.

#### *Entraînements en condition neurofeedback.*

Les modalités d'entraînement pour les participants de la deuxième expérimentation attribués au groupe bénéficiant du vrai traitement de neurofeedback, sont les mêmes qu'à la première expérimentation (électrode à C4, renforcement des ondes RSM et inhibition des ondes Thêta et 52-58Hz).

#### *Entraînements en condition placebo.*

Le déroulement des séances (le nombre de séances, la durée, la pose d'électrodes, le nombre de jetons obtenus, les certificats-cadeau, ...) est identique aux entraînements offerts au groupe neurofeedback. L'EEG des enfants du groupe placebo est également enregistré à C4. La seule différence entre les deux groupes concerne la rétroaction donnée à l'enfant sur son activité cérébrale. Pour le groupe « placebo », la rétroaction est non contingente à l'activité cérébrale. La rétroaction est plutôt constituée d'un enregistrement vidéo et sonore des séances correspondantes d'un participant de la première expérimentation. Chaque jeune de ce groupe est apparié à un jeune de la première expérimentation, pour éliminer la possibilité qu'un entraîneur remarque que deux jeunes ont exactement le même déroulement de leurs sessions sur l'écran. Seule l'activité des ondes 52-58Hz est réelle pour diminuer les artéfacts musculaires possibles. Une description plus détaillée du protocole placebo est présentée à l'appendice B.

En somme, les essais, les séances, la rétroaction et les récompenses sont tous standardisés et offrent aux enfants des deux groupes les mêmes conditions.

## *Résultats de l'Expérimentation 2*

### *Tests Statistiques*

Comme à la première expérimentation, les moyennes en pré-test de toutes les variables ne présentent aucune différence significative entre les groupes. La symétrie est aussi confirmée pour la majorité des variables. Les transformations décrites pour l'expérimentation 1 sont appliquées de la même façon et pour les mêmes variables.

Les résultats au WISC-IV de cinq participants sont exclus des analyses pour les échelles Vitesse de traitement de l'information et Globale pour diverses raisons (4 participants de moins de 8 ans et pour lesquels le sous-test « Code » diffère de ceux de plus de 8 ans; 1 participant présentant un trouble dyslexique ayant commis plusieurs erreurs d'orientation au sous-test « Code » et pour qui le résultat à ce sous-test n'est donc pas valide). Quatre de ces enfants font parti du groupe neurofeedback et un autre, de la liste d'attente.

Quant aux résultats issus des questionnaires, il manque près de la moitié de ceux de la version enseignant (14/31 CBCL manquants, répartis également dans les trois groupes). En effet, une partie des enfants recrutés ont débuté le processus d'évaluation pré-test à l'été et il n'a pas été possible de faire compléter la version enseignant des questionnaires pour ces participants. De plus, d'autres questionnaires qui auraient dû être complétés n'ont pas été retournés par les enseignants. Finalement, quatre questionnaires SDQ et CBCL (2 du groupe attente, 1 vrai neurofeedback et 1 placebo) ainsi qu'un questionnaire DuPaul (attente) n'ont pas été remis à temps par les parents, soit au moment du pré-test ou du post-test.

Nous avons d'abord effectué une Ancova (scores en pré-test comme covariable) en ordonnant les groupes de façon à ce qu'un test linéaire (contraste polynomial) unidirectionnel permette de vérifier que le groupe placebo n'est pas significativement mieux que celui en attente. Cette vérification faite, elle justifie le regroupement des deux groupes contrôles et permet l'utilisation du test quadratique (unidirectionnel) de l'Ancova opposant la moyenne de ces deux groupes au groupe recevant le vrai neurofeedback (neurofeedback > placebo & attente). Dans l'éventualité où le groupe placebo semble présenter une amélioration par rapport au groupe en attente, sans correction pour le nombre de tests, une Ancova secondaire est indiquée et effectuée, comparant le groupe

traité au groupe placebo (unidirectionnel: neurofeedback > placebo). Cette option ne s'est avérée appropriée que pour une seule variable, soit « DSM Opposant-défiant » du questionnaire CBCL-parent.

Puisque plusieurs tests sont faits, une correction de Bonferroni est appliquée. Dans un premier temps, les questionnaires comportementaux sont regroupés. Ainsi, pour être jugée comme étant une différence significative entre les groupes, la probabilité sur une de ces variables doit être inférieure à .005 (correction Bonferroni:  $.05 / 10 = .005$ ) dans la direction désirée. Quant aux probabilités des variables du WISC-IV, celles-ci doivent être inférieures à .01 (correction Bonferroni:  $.05 / 5 = .01$ ).

À titre descriptif, une autre approche est instaurée en parallèle à l'analyse principale décrite ci-dessus. Les mesures retenues pour une même question, au lieu de faire l'objet d'une correction de Bonferroni, sont ici combinées en un seul score qui, pour les mesures en pré-test, est simplement la moyenne des cotes z alignées en polarité. Ainsi, un score réduit indique une amélioration sur les échelles de comportement tandis que les polarités pour le QI feront qu'un score accru est une amélioration. Ces composites de cotes z peuvent alors être prises sans tenir compte du groupe. Ceci est acceptable parce que les groupes ne diffèrent pas en pré-test, étant donnée l'assignation au hasard. Pour les mesures post entraînement, pour lesquelles les moyennes peuvent être changées et les variances accrues en raison du traitement, on ne veut ni changer l'importance relative des variables, ni ramener les moyennes générales à zéro. On utilisera donc les moyennes et les écarts types des variables observées en pré-test pour combiner les variables. Pour cette analyse secondaire, on utilisera également une analyse de covariance.

### *Résultats des Questionnaires Complétés par les Parents*

#### *Échelle comportementale du SDQ.*

Les moyennes des scores bruts de l'échelle Troubles comportementaux du SDQ aux questionnaires parents sont rapportées au Tableau VIII (pré-test et post-test). La tendance ( $p = .069$ ) vers un résultat significatif observée à l'expérimentation 1 pour cette échelle n'est pas confirmée, le résultat étant toutefois dans la même direction et de grandeur comparable.

Tableau VIII

*Moyennes des scores bruis à l'item des « Troubles comportementaux » au SDQ, version parent, phase 2*

Variable	Pré-test $\pm$ écart-type	Post-test $\pm$ écart-type	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart-type	t(23)	p	$\eta^2$
Traité	3.90 $\pm$ 2.77	2.40 $\pm$ 1.65	2.61 $\pm$ 1.43			
Placebo	5.11 $\pm$ 2.57	3.78 $\pm$ 2.22	3.35 $\pm$ 1.45	1.517	.072	0.09
Attente	3.88 $\pm$ 2.03	3.38 $\pm$ 1.85	3.60 $\pm$ 1.43			



*Échelle comportementale CBCL.*

Les moyennes aux scores T des échelles retenues à l'expérimentation 2 pour les questionnaires parents (pré-tests et post-tests) au CBCL sont rapportées au Tableau IX. Contrairement aux résultats de la première expérimentation, nous n'observons aucun résultat significatif sur ce questionnaire et les deux échelles précédemment significatives montrent ici des moyennes légèrement en direction opposée pour le groupe expérimental par rapport aux deux groupes contrôles réunis.

Tableau IX

*Moyennes des scores T au CBCL, version parent, phase 2*

		Pré-test ± écart-type (moyenne transformée ± écart-type)	Post-test ± écart-type (moyenne transformée ± écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable (moyenne transformée ± écart-type)	t(23) sauf exception	p	η <sup>2</sup>
Variable	Groupe						
Synd. pr. attn							
	Traité	64.20 ± 8.44	63.70 ± 8.21	65.76 ± 5.17	0.726	.763	0.02
	Placebo	68.78 ± 8.91	64.44 ± 8.25	63.42 ± 5.07			
	Attente	69.38 ± 9.84	66.50 ± 6.80	65.07 ± 5.09			
Synd. agres.							
	Traité	61.60 (1.22 ± 0.29)	55.96 (1.04 ± 0.24)	58.49 (1.13 ± 0.17)	0.983	.169	0.04
	Placebo	69.55 (1.39 ± 0.15)	61.98 (1.23 ± 0.25)	60.14 (1.18 ± 0.17)			
	Attente	68.99 (1.38 ± 0.19)	63.62 (1.27 ± 0.26)	61.60 (1.22 ± 0.17)			
DSM TDAH							
	Traité	64.90 ± 8.97	63.80 ± 8.32	65.27 ± 5.81	0.056	.522	0.00
	Placebo	67.00 ± 7.19	65.22 ± 8.69	65.05 ± 5.76			
	Attente	68.88 ± 10.23	66.88 ± 9.88	65.23 ± 5.81			
DSM O-Déf. **							
	Traité	61.60 ± 9.06	54.30 ± 3.53	55.20 ± 4.14	t(16) = 2.293	.018	0.14
	Placebo	67.00 ± 8.47	60.67 ± 6.22	59.67 ± 4.15			
	Attente	66.13 ± 8.41	64.63 ± 8.80				
DSM Pr. Cond.							
	Traité	61.30 ± 8.92	57.80 ± 6.99	60.34 ± 6.02	0.393	.349	0.01
	Placebo	69.44 ± 8.32	63.44 ± 9.68	60.66 ± 6.05			
	Attente	65.25 ± 6.78	62.00 ± 6.02	61.96 ± 5.76			

\*\* Le groupe traité a été comparé au groupe placebo dans ce cas-ci puisque les groupes contrôles pourraient différer sur cette variable (p = .067, bidirectionnel)

*Échelle comportementale DuPaul.*

Les moyennes rapportées en rangs centiles et les probabilités des échelles du questionnaire DuPaul complété par les parents sont rapportées au Tableau X. On observe une différence significative entre le groupe neurofeedback et les groupes contrôles (placebo et liste d'attente) à la sous-échelle Totale seulement. On note cependant des résultats dans la même direction que ce qui est attendu aux deux autres sous-échelles.

Tableau X

*Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version parent, phase 2*

Variable	Groupe	Pré-test ± écart-type (moyenne transformée ± écart-type)	Post-test ± écart-type (moyenne transformée ± écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable (moyenne transformée ± écart-type)	t(26)	p	$\eta^2$
Hyperactivité							
	Traité	87.87 (0.85 ± 0.49)	81.11 (0.68 ± 0.43)	86.15 (0.80 ± 0.29)			
	Placebo	93.49 (1.07 ± 0.34)	92.23 (1.01 ± 0.39)	91.04 (0.96 ± 0.29)	1.117	.138	0.05
	Attente	93.87 (1.09 ± 0.39)	91.04 (0.96 ± 0.43)	89.41 (0.90 ± 0.29)			
Inattention							
	Traité	94.76 (1.14 ± 0.43)	84.62 (0.76 ± 0.38)	83.38 (0.73 ± 0.32)			
	Placebo	92.88 (1.04 ± 0.43)	90.77 (0.95 ± 0.41)	91.04 (0.96 ± 0.32)	2.314	.014	0.17
	Attente	93.49 (1.07 ± 0.43)	93.29 (1.06 ± 0.41)	93.49 (1.07 ± 0.32)			
Totale							
	Traité	93.68 (1.08 ± 0.31)	82.50 (0.71 ± 0.37)	83.80 (0.74 ± 0.27)			
	Placebo	94.24 (1.11 ± 0.38)	92.45 (1.02 ± 0.38)	92.45 (1.02 ± 0.26)	2.833	.0045*	0.24
	Attente	94.59 (1.13 ± 0.35)	93.09 (1.05 ± 0.39)	92.88 (1.04 ± 0.27)			

\*rapporte une différence significative entre les groupes, dans la direction désirée (correction Bonferroni : .05 / 10 tests = .005)

*Résultats des Questionnaires Complétés par les Enseignants**Échelle comportementale CBCL.*

Au Tableau XI, on rapporte les résultats de la sous-échelle « Agressivité » du questionnaire complété par les enseignants (pré-test et post-test). Contrairement aux résultats obtenus lors de la première expérimentation, aucun résultat significatif n'est observé ici.

Tableau XI

Moyennes des scores *T* à la variable « Agressivité » du CBCL, version enseignant, phase 2

Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart- type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)		
			t(13)	p	$\eta^2$
Traité	53.91 (0.95 $\pm$ 0.23)	54.33 (0.97 $\pm$ 0.21)	55.72 (1.03 $\pm$ 0.21)		
Placebo	57.02 (1.08 $\pm$ 0.24)	57.30 (1.09 $\pm$ 0.26)	56.48 (1.06 $\pm$ 0.21)	0.172	.567
Attente	57.02 (1.08 $\pm$ 0.38)	54.33 (0.97 $\pm$ 0.32)	53.91 (0.95 $\pm$ 0.21)		0.00

*Résultats au WISC-IV*

Les moyennes des scores pondérés (moyennes de 100 et écarts types de 15 dans la population de référence) aux diverses échelles ainsi que les probabilités unidirectionnelles sont rapportées au Tableau XII. Rappelons que les résultats de cinq sujets sont exclus des analyses pour les raisons décrites précédemment (un provenant du groupe en attente et quatre du groupe traité).

Bien que les échelles Mémoire de travail et QI Global présentent des différences dont la probabilité est très près du seuil significatif, aucune de ces variables ne franchit ce seuil (correction Bonferroni:  $.05 / 5 \text{ variables} = .01$ ).

Tableau XII

*Moyennes des scores pondérés aux échelles du WISC-IV, phase 2*

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart- type	Post-test $\pm$ écart-type	Post-test, scores corrigés par la covariable	t(27) sauf exception	p	$\eta^2$
Compréhension verbale							
	Traité	92.90 $\pm$ 7.52	98.40 $\pm$ 12.66	99.51 $\pm$ 8.51	1.914	.033	0.12
	Placebo	92.80 $\pm$ 21.62	92.30 $\pm$ 18.68	93.50 $\pm$ 8.51			
	Attente	96.55 $\pm$ 6.96	95.09 $\pm$ 11.77	93.00 $\pm$ 8.55			
Raisonnement perceptif							
	Traité	107.60 $\pm$ 13.04	108.00 $\pm$ 14.44	105.56 $\pm$ 9.27	0.028	.511	0.00
	Placebo	107.30 $\pm$ 17.28	107.40 $\pm$ 18.42	105.22 $\pm$ 9.26			
	Attente	99.82 $\pm$ 13.53	101.91 $\pm$ 13.25	106.11 $\pm$ 9.41			
Mémoire de travail							
	Traité	84.80 $\pm$ 9.33	95.50 $\pm$ 14.14	100.25 $\pm$ 13.22	2.178	.019	0.15
	Placebo	95.40 $\pm$ 19.64	91.00 $\pm$ 22.84	87.71 $\pm$ 13.01			
	Attente	92.82 $\pm$ 12.84	91.64 $\pm$ 11.52	90.31 $\pm$ 12.84			
Vitesse de traitement de l'information **							
	Traité	95.83 $\pm$ 10.87	98.50 $\pm$ 17.13	97.61 $\pm$ 12.30	t(22) = 0.662	.258	0.02
	Placebo	100.70 $\pm$ 17.02	96.10 $\pm$ 19.40	90.96 $\pm$ 12.81			
	Attente	88.30 $\pm$ 9.15	91.00 $\pm$ 12.76	96.67 $\pm$ 12.93			
Globale **							
	Traité	95.33 $\pm$ 8.41	104.50 $\pm$ 13.69	104.93 $\pm$ 8.94	t(22) = 2.428	.012	0.21
	Placebo	99.10 $\pm$ 21.41	96.20 $\pm$ 21.61	93.24 $\pm$ 9.03			
	Attente	92.80 $\pm$ 8.04	93.70 $\pm$ 8.91	96.41 $\pm$ 9.02			

\*\* analyses effectuées sans les données des cinq sujets exclus



*Résultats des composites de cotes z**Composite questionnaires comportementaux*

Le Tableau XIII présente les moyennes des cotes z du composite constitué des résultats à la version parent des divers questionnaires comportementaux (SDQ: Sous-échelle Troubles comportementaux; CBCL: Sous-échelles des Syndromes Problèmes attentionnels et Agressivité, Sous-échelles « DSM » TDAH, Problèmes opposant-défiant et Problèmes de la conduite; DuPaul: Sous-échelles Hyperactivité, Inattention et Totale). Les scores provenant de l'unique variable « enseignant » n'ont pas été inclus dans le composite étant donné le nombre important de questionnaires manquants et, par conséquent, la perte de près de la moitié des degrés de liberté si ces résultats sont inclus, ce qui entraîne la disparition de la tendance vers un effet significatif ( $t(11) = 0.970$ ;  $p = .18$ ).

Tableau XIII

*Composite questionnaires comportementaux, phase 2*

Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type	Post-test $\pm$ écart-type	Post-test, scores corrigés par la covariable $\pm$ écart- type		t(23)	p	$\eta^2$
Traité	-0.26 $\pm$ 0.80	-0.83 $\pm$ 0.68	-0.64 $\pm$ 0.49				
Placebo	0.20 $\pm$ 0.84	-0.26 $\pm$ 0.78	-0.41 $\pm$ 0.49		1.634	.06	0.10
Attente	0.09 $\pm$ 0.86	-0.15 $\pm$ 0.95	-0.22 $\pm$ 0.48				

*Composite WISC-IV*

Les moyennes des cotes  $z$  du composite constitué des résultats aux quatre sous-échelles du WISC-IV (Compréhension verbale; Raisonnement perceptif; Mémoire de travail; Vitesse de traitement de l'information) sont rapportées au Tableau XIV. Les scores à l'échelle globale n'ont pas été inclus dans ce composite puisque le score à cette échelle équivaut au composite étant lui-même la somme des résultats aux quatre sous-échelles.

Rappelons que les résultats de cinq sujets sont exclus des analyses pour les raisons décrites précédemment (un provenant du groupe en attente et quatre du groupe traité).

Mentionnons que si les résultats à la sous-échelle de Vitesse de traitement de l'information ne sont pas inclus dans le composite, 5 sujets sont ajoutés et l'effet demeure ( $t(27) = 2.226$ ;  $p = .02$ ).

Tableau XIV

*Composite WISC-IV, phase 2*

Groupe	Post-test, scores corrigés			
	Pré-test $\pm$ écart-type	Post-test $\pm$ écart-type	par la covariable $\pm$ écart- type	t(22)      p $\eta^2$
Traité	0.02 $\pm$ 0.51	0.47 $\pm$ 0.71	0.49 $\pm$ 0.50	
Placebo	0.20 $\pm$ 1.16	0.03 $\pm$ 1.21	-0.12 $\pm$ 0.50	2.212      .02      0.18
Attente	-0.13 $\pm$ 0.47	-0.08 $\pm$ 0.46	0.06 $\pm$ 0.51	

## CHAPITRE V

### Discussion

#### *Rappel des Objectifs et des Résultats*

Cette thèse avait pour principal objectif d'évaluer l'efficacité d'un traitement de neurofeedback auprès d'enfants présentant un TDAH sur la diminution des symptômes comportementaux associés au TDAH et sur l'amélioration du fonctionnement intellectuel. Pour ce faire, deux études ont été menées.

La première étude est une étude pilote dont l'objectif était de recueillir des données EEG à utiliser dans le cadre de la condition placebo de l'étude principale, puis de sélectionner les variables à utiliser lors de l'étude principale. Cette première expérimentation permettait aussi de vérifier directement l'hypothèse que le traitement est bénéfique, malgré un nombre restreint de participants et une correction sévère du seuil de signification en raison du grand nombre de variables examinées. Les participants étaient des enfants d'âge scolaire, avec un diagnostic de TDAH, répartis au hasard dans deux groupes, soit un groupe neurofeedback et un groupe en liste d'attente.

De cette première étude, deux échelles du CBCL-parent ont montré un avantage significatif du groupe entraîné par rapport au groupe contrôle, malgré le critère statistique sévère. Trois échelles du questionnaire DuPaul rempli par les parents ont également montré un effet crédible mais en deçà du seuil statistique fixé. Les mesures reliées au QI n'ont pas montré d'effet crédible.

La deuxième étude qui se veut l'expérimentation principale vise à nouveau, mais avec plus de participants et des variables pré-sélectionnées, à évaluer si des enfants qui ont un diagnostic de TDAH peuvent réduire leurs symptômes comportementaux associés à ce syndrome et s'ils peuvent améliorer leur fonctionnement intellectuel grâce au neurofeedback spécifiquement. Les participants ont été répartis au hasard en trois groupes expérimentaux, un groupe de vrai neurofeedback, un groupe de neurofeedback placebo et un groupe en liste d'attente ne recevant aucun traitement (autre que la médication psychostimulante, comme tous les participants).

Lors de cette deuxième étude, on a observé des améliorations comportementales significatives à une échelle du DuPaul-parent en faveur du groupe de vrai neurofeedback

par rapport aux deux groupes contrôles, lesquels ne différaient pas entre eux. L'effet observé à la première étude sur le questionnaire CBCL-parent ne s'est toutefois pas reproduit. À la mesure du fonctionnement intellectuel, des gains ont aussi été observés pour les enfants du groupe de vrai neurofeedback, contrairement aux enfants des groupes contrôles. Toutefois, ces gains au niveau du rendement intellectuel n'étaient pas suffisamment importants pour franchir le seuil de signification, après l'application de la correction de Bonferroni.

### *Interprétation des Résultats*

#### *Effets du Neurofeedback sur les Symptômes Comportementaux du TDAH*

Les résultats indiquent qu'à la suite du traitement de neurofeedback, les parents des enfants de ce groupe ont rapporté des améliorations au plan des symptômes comportementaux suffisamment importantes pour être détectées statistiquement, avec un critère qui tient compte du nombre total de tests, sur au moins un des trois questionnaires à chaque expérimentation (CBCL à l'expérimentation 1 et DuPaul à l'expérimentation 2). De plus, une tendance vers des résultats significatifs ( $p \leq .05$  sans correction pour le nombre de tests) est détectée au questionnaire DuPaul-parent à l'étude 1. De même, à la deuxième expérimentation, une tendance vers des résultats significatifs est observée sur un score composite qui regroupe tous les résultats obtenus à la version parent des questionnaires ( $p = .06$ ). En revanche, les parents des enfants des groupes placebo et liste d'attente ne rapportent aucune amélioration apparente.

Les résultats obtenus ainsi que le design expérimental utilisé, avec répartition au hasard dans le groupe neurofeedback et dans les groupes contrôles, permettent de conclure que les effets du neurofeedback sur les symptômes comportementaux du TDAH sont spécifiques à ce traitement et ne résultent pas de facteurs autres, comme la maturation, l'effet test-retest ou le fait d'être engagé dans une relation thérapeutique.

Néanmoins, il faut demeurer prudent dans l'interprétation de ces résultats puisqu'ils sont plus ou moins constants au cours des deux études et qu'ils ne se sont pas généralisés à l'ensemble des questionnaires qui évaluent les comportements visés.

Les rangs centiles au questionnaire DuPaul sont disponibles par tranches de trois ans (e.g. les 8 à 12 ans). Il appert que 7 participants, au total, ont changé de groupe d'âge

entre les deux temps d'évaluation. Or il peut arriver qu'un même score pour un groupe d'âge plus vieux donne un rang centile plus bas (apparemment meilleur). Bien qu'on s'attende à l'inverse, un score représentant un certain percentile à 7 ans peut donc correspondre à une atteinte moins sévère (centile plus bas) à 8 ans. Ceci peut contribuer à une amélioration qui ne serait qu'apparente, mais pourrait aussi avoir augmenté la variance des mesures. On constate que 1 enfant (groupe attente) à la première expérimentation et 6 enfants (5 du groupe de neurofeedback et 1 en attente) à la deuxième expérimentation ont changé de groupe de normes en cours d'étude. La distribution inégale entre les groupes des jeunes ayant changé de groupe d'âge pourrait être une source de biais. Si on tient compte de ce facteur et qu'il est décidé de garder chaque participant dans le même groupe d'âge en pré et en post (l'âge moyen aux deux moments de tests a été choisi à cet effet), on observe toujours une tendance vers un effet significatif mais aucune variable ne rencontre plus le critère Bonferroni (voir tableau XV). Ceci crée donc un bémol supplémentaire. Sans le biais des changements de groupe d'âge pour les normes centiles, le score DuPaul total cesse de différencier les groupes selon le critère sévère adopté a priori.

La correction heuristique de Bonferroni pourrait toutefois avoir été trop sévère dans le cas du DuPaul-parent, puisqu'elle présuppose non seulement l'absence d'effet, mais aussi, l'indépendance des mesures. Pour des mesures corrélées, comme c'est le cas ici, la probabilité qu'une d'elles rejette faussement l'hypothèse nulle, sachant que les autres ne l'ont pas fait, est moindre que la valeur nominale de son test, ce qui rend cette correction plus sévère que requis.

Tableau XV

*Moyennes des scores en rangs centiles au DuPaul, version parent (mêmes groupes d'âge en pré et post-test), phase 2*

Variable	Groupe	Pré-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test $\pm$ écart-type (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable (moyenne transformée $\pm$ écart-type)	t(26)	p	$\eta^2$
Hyperactivité							
	Traité	88.51 (0.87 $\pm$ 0.50)	80.62 (0.67 $\pm$ 0.43)	85.37 (0.78 $\pm$ 0.29)			
	Placebo	93.49 (1.07 $\pm$ 0.34)	92.23 (1.01 $\pm$ 0.39)	91.14 (0.96 $\pm$ 0.29)	1.34	.09	0.06
	Attente	94.06 (1.10 $\pm$ 0.37)	91.04 (0.96 $\pm$ 0.43)	89.41 (0.90 $\pm$ 0.29)			
Inattention							
	Traité	94.59 (1.13 $\pm$ 0.42)	85.78 (0.79 $\pm$ 0.40)	84.98 (0.77 $\pm$ 0.33)			
	Placebo	92.88 (1.04 $\pm$ 0.43)	90.78 (0.95 $\pm$ 0.41)	91.01 (0.96 $\pm$ 0.33)	1.93	.03	0.13
	Attente	93.29 (1.06 $\pm$ 0.45)	93.29 (1.06 $\pm$ 0.41)	93.55 (1.07 $\pm$ 0.33)			
Totale							
	Traité	93.68 (1.08 $\pm$ 0.31)	84.62 (0.76 $\pm$ 0.40)	85.63 (0.79 $\pm$ 0.28)			
	Placebo	94.24 (1.11 $\pm$ 0.38)	92.45 (1.02 $\pm$ 0.38)	92.32 (1.01 $\pm$ 0.28)	2.25	.02	0.16
	Attente	94.59 (1.13 $\pm$ 0.34)	93.29 (1.06 $\pm$ 0.40)	92.94 (1.04 $\pm$ 0.28)			



*Comparaison des résultats des deux études.*

Pour identifier ce qu'il y a véritablement à expliquer des résultats en apparence discordants des deux études, nous avons analysé en commun les données de ces deux études pour comparer le groupe neurofeedback aux participants contrôles (regroupant les groupes liste d'attente et placebo qui ne diffèrent pas entre eux) à l'aide d'une Ancova qui inclut aussi le facteur étude. Ceci permet de vérifier si des différences entre les deux études sont détectées et ajoute de la puissance en faisant porter les tests sur un plus grand nombre de sujets. Lorsque nous analysons ainsi simultanément les deux études, nous observons au DuPaul (données pour lesquelles les groupes d'âge sont identiques en pré et en post-test) que l'effet de traitement est significatif pour chacune des trois variables en cause (Tableau XVI:  $F(1, 40) \geq 8.974$ ;  $p \leq .005$ ), tandis qu'il n'y a ni effet d'étude ( $F(1, 40) \leq 0.554$ ) ni interaction groupe par étude ( $F(1, 40) \leq 1.758$ ;  $p \geq .19$ ). Ceci veut donc dire que, peu importe si on tient compte ou non du groupe d'âge, l'effet observé à l'étude 2 semble aussi présent à l'étude 1, mais que le manque de puissance (petit nombre de participants et correction sévère pour le grand nombre de variables examinées) n'avait pas permis de franchir le seuil de signification fixé.

Malgré les bémols exprimés plus haut, on retient donc que, dans l'ensemble des deux expérimentations le groupe traité s'est amélioré sur les dimensions visées par le questionnaire DuPaul pour les parents, alors que la seconde expérimentation ne montre aucune différence entre le groupe placebo et celui en simple liste d'attente.

Tableau XVI

*Moyennes au DuPaul, version parent (mêmes groupes d'âge en pré et post-test) des groupes « traité » et « contrôle » (placebo et attente regroupée) des phases 1 et 2, en tenant compte du facteur étude en covariable*

Variable	Groupe	Post-test, scores corrigés				
		Pré-test ± écart-type (moyenne transformée ± écart-type)	Post-test ± écart-type (moyenne transformée ± écart-type)	Post-test, scores corrigés par la covariable (moyenne transformée ± écart-type)	F(1, 40)	p (unidir.)  $\eta^2$
Hyperactivité						
	Traité	86.51 (0.81 ± 0.43)	74.72 (0.56 ± 0.38)	79.77 (0.65 ± 0.28)	8.974	.0025 0.08
	Contrôle	92.45 (1.02 ± 0.36)	91.07 (0.96 ± 0.40)	90.09 (0.92 ± 0.31)		
Inattention						
	Traité	94.76 (1.14 ± 0.35)	85.71 (0.79 ± 0.42)	85.63 (0.79 ± 0.31)	13.051	.0005 0.16
	Contrôle	94.59 (1.13 ± 0.40)	94.14 (1.10 ± 0.39)	94.90 (1.15 ± 0.36)		
Totale						
	Traité	93.29 (1.06 ± 0.27)	82.68 (0.71 ± 0.37)	84.42 (0.76 ± 0.26)	15.661	.000 0.14
	Contrôle	94.76 (1.14 ± 0.32)	93.81 (1.09 ± 0.37)	93.78 (1.09 ± 0.29)		

Pour ce qui est du CBCL, la non réplique des résultats demande une explication, d'autant plus que l'analyse des données des deux études met en évidence une interaction groupe par étude significative, pour les deux variables concernées ( $F(1, 37) \geq 9.47$ ;  $p \leq .003$ ). Ce résultat veut dire que les données des deux études diffèrent significativement (ce qui rend donc sans signification les deux effets principaux qui composent l'interaction; ce sont les effets simples qui importent alors). On avait déjà vu que l'effet détecté à l'étude 1 n'est pas du tout détecté à l'étude 2.

Nous retenons donc que le questionnaire DuPaul-parent fait ressortir avec consistance une amélioration pour les groupes ayant reçu un vrai entraînement de neurofeedback. Pour ce qui est du questionnaire CBCL-parent, celui-ci semble affecté par une caractéristique qui différencierait les deux études puisqu'un effet y est très marqué dans la première, mais est absent dans la seconde.

### *Le mystère du CBCL.*

Lorsque nous examinons les données de l'étude 1 de plus près pour tenter d'y voir clair, nous constatons que les résultats (scores de changement post moins pré) obtenus à l'étude 1 au DuPaul et au CBCL pour les participants du groupe expérimental apparaissent comme le reflet de deux phénomènes distincts. Ainsi, malgré le petit nombre de participants concernés ( $n = 8$ ), des corrélations significatives sont observées entre les trois variables du DuPaul-parent ( $r > 0.8$ ;  $p < .05$ ) et une assez bonne corrélation est observée entre les deux variables du CBCL-parent ( $r = 0.452$ ;  $p = .13$  unidirectionnel); alors que les corrélations inter-questionnaires ne sont pas significatives ( $|r| < 0.2$ ). Une analyse en composantes principales appuie ceci en mettant en évidence deux composantes correspondant respectivement à l'un et l'autre des questionnaires (CBCL vs DuPaul). Le test des éboulis (Scree test) et le critère de valeurs propres supérieures à 1.0 (elles sont successivement 2.8; 1.5; 0.55; 0.14 et 0.002) suggèrent qu'un seul facteur sous-jacent n'est pas une interprétation acceptable des données. On confirme donc que les deux questionnaires mettent en évidence deux phénomènes distincts dont l'un (celui observé au CBCL) n'a pas été reproduit à la deuxième expérimentation.

On peut interpréter que le phénomène observé au DuPaul soit le reflet des effets du neurofeedback puisqu'il s'est répliqué d'une étude à l'autre. Il est toutefois plus difficile d'expliquer le phénomène observé au CBCL. Dans un premier temps, on pourrait croire que les groupes n'étaient pas équivalents initialement sur ces deux variables du CBCL entre les deux études dû au fait que plusieurs participants de la phase 2 ont été évalués, en pré-tests, durant la période estivale. Peut-être ce questionnaire, contrairement au DuPaul, a-t-il fait sous-estimer les problèmes des jeunes pendant les vacances d'été. Cependant lorsque les deux études sont comparées à l'aide d'un test t de Student, on confirme l'équivalence des deux études avant le traitement ( $t(40) < 1.00$ ;  $p \geq .740$ ).

Une autre source d'explication serait que le CBCL soit moins sensible que le DuPaul aux variations plus subtiles des symptômes du TDAH. Par exemple, alors que la majorité des scores aux questionnaires DuPaul (39 / 46, peu importe le groupe) est considérée « clinique » en pré-test, moins du tiers (14 / 46) des sujets sont classés dans cette catégorie au CBCL. Toutefois, lorsque nous faisons abstraction de la qualification clinique et que nous ne nous intéressons qu'à la variation des scores, nous constatons que cette variation est comparable d'un questionnaire à l'autre. Cependant, l'absence de corrélation entre les questionnaires CBCL et DuPaul (phase 1), en ce qui concerne les scores de changement, nous indique que les gains ne sont pas observés chez les mêmes enfants d'un questionnaire à l'autre. Il nous paraît donc impossible, sur la base des données recueillies, d'expliquer le phénomène observé au CBCL. S'il ne s'agit pas que d'une erreur de type I (faux positif) pour cet instrument, il faudrait pouvoir cerner quelle est cette dimension d'amélioration ou quelles sont les différences subtiles d'entraînement entre les deux études qui déterminent cet effet au CBCL-parent. Rappelons que le design de l'étude 1, à laquelle est restreint l'effet au CBCL, ne permet pas d'exclure un effet de « traitement des parents » ou autre contribution de type placebo. Il aurait fallu que l'effet se réplique à l'étude 2 pour qu'on puisse apprécier s'il se manifeste dans les deux groupes entraînés ou seulement dans le groupe de vrai neurofeedback.

#### *Version enseignant des questionnaires.*

Bien que les parents observent des améliorations comportementales à la maison, il semble que ce traitement n'ait pas eu les mêmes impacts en classe. En effet, si on tient

compte de la correction de Bonferroni, l'ensemble des variables extraites des questionnaires complétés par les enseignants ne démontre aucune amélioration significative. Il faut dire que les discordances entre les questionnaires complétés par les parents et les enseignants sont relativement communes et reconnues scientifiquement (Achenbach, McConaughy, & Howell, 1987; Wolraich et al., 2004). Ce phénomène peut s'expliquer de plusieurs façons. Notamment, dans le cas présent, il faut savoir que les enseignants ont observé leurs élèves alors qu'ils étaient déjà sous l'effet d'une médication psychostimulante, que ce soit en pré-test ou en post-test (les enfants n'ont pas eu à cesser temporairement leur médication lorsqu'à l'école). Ainsi, l'absence d'amélioration aux questionnaires comportementaux complétés par les enseignants ne contredit pas les résultats observés aux questionnaires complétés par les parents qui eux, observent leur enfant dans les moments de la journée où la médication psychostimulante ne fait pas encore effet (le matin) ou ne fait plus effet (en soirée).

#### *Effets du Neurofeedback sur le fonctionnement intellectuel*

Le neurofeedback (avec un protocole d'entraînement RSM-Thêta à C4) a eu pour effet d'améliorer la mesure de fonctionnement intellectuel chez les enfants présentant un TDAH, sous forme d'une augmentation de leur score au QI global de 9 points en moyenne, à la deuxième expérimentation. Toutefois, si on considère la probabilité corrigée d'après le critère de correction de Bonferroni qui tient compte du nombre de variables utilisées, la probabilité au QIG ( $p = .012$ ) ne satisfait pas le critère que nous avons fixé à  $p \leq .01$  ( $.05 / 5$  variables). Rappelons aussi que les résultats obtenus sur cette même variable lors de la première expérimentation du présent projet n'étaient pas significatifs. L'augmentation moyenne était alors d'environ 3.5 points au QIG. Il est vrai que le nombre de participants, particulièrement du groupe contrôle, était moins important que pour la deuxième expérimentation.

Lorsque nous analysons ensemble les résultats des deux études, comparant les enfants entraînés à ceux des groupes contrôles (placebo et attente regroupés dans le cas de l'étude 2), nous observons toujours une tendance vers un résultat significatif sur la mesure de QIG ( $F(1, 33) = 5.806$ ;  $p = .011$ ), si l'on tient compte de la correction de Bonferroni. De plus, les résultats des deux études sont congruents et ne diffèrent pas

(effet d'étude non significatif:  $F(1, 33) = 1.332$ ;  $p = .257$ ; interaction groupe par étude non significative:  $(F(1, 33) = 1.021$ ;  $p = .320)$ ).

Toutefois, il aurait été tout aussi indiqué d'adopter l'une de deux approches alternatives à celle qui a été choisie a priori (qui avait pour objectif d'emporter l'adhésion des observateurs les plus sceptiques) dans l'analyse des résultats obtenus. D'abord, le résultat obtenu au score composite calculé a posteriori (cotes  $z$  des résultats aux quatre échelles partielles de l'évaluation intellectuelle) franchit le seuil de signification et indique que l'effet du neurofeedback explique plus de 18 % de la variance, c'est-à-dire que le traitement présente une grande taille d'effet ( $p = .02$ ,  $r^2 = 0.18$ ). Deuxièmement, il aurait été tout aussi approprié de sélectionner comme variable d'intérêt le score au QI global (score représentant l'ensemble des résultats obtenus aux divers sous-tests et sous-échelles) dans un premier temps pour ensuite examiner à titre descriptif, les sous-tests ou sous-échelles qui peuvent rendre compte des changements observés. Dans cette éventualité, les résultats obtenus à l'échelle globale auraient alors franchi un simple seuil de signification à .05.

D'ailleurs, à l'examen des résultats aux sous-échelles, les QI partiels « Mémoire de travail » et « Compréhension verbale » présentent une tendance vers des gains significatifs lors de la deuxième expérimentation ( $p = .019$  et  $p = .033$  respectivement).

Comme pour les résultats aux questionnaires comportementaux, nous observons que le groupe traité est avantagé par rapport au groupe qui a reçu le traitement placebo ou celui en liste d'attente sur la mesure du fonctionnement intellectuel. Le gain moyen pour les deux études des enfants ayant reçu un vrai traitement de neurofeedback est de 6.4 points de QI. Dans la mesure où on accepte ces résultats comme probants, nous pouvons déduire que les gains présentés sur les mesures de fonctionnement intellectuel sont effectivement attribuables au neurofeedback plutôt qu'à des facteurs non spécifiques, puisque seuls les enfants ayant bénéficié de ce traitement présentent des gains sur ces variables, le changement moyen pour les enfants des groupes contrôles étant une perte non significative d'un point.

Il ne faut pas se méprendre, un gain de 6 à 9 points au QI global est certes fort intéressant, mais il ne veut pas dire que l'enfant soit plus intelligent. Tel que le suggérait déjà Barkley (2006) en explication partielle de l'amélioration de QI observable chez les



jeunes dont le TDAH est contrôlé par médication, l'augmentation du QI nous semble plutôt le reflet de meilleures dispositions en situation d'évaluation (rappelons que les évaluations de QI se sont déroulées alors que les participants n'étaient pas sous l'effet bénéfique de la médication psychostimulante). En effet, telles qu'observées par ailleurs sur les questionnaires comportementaux, les améliorations comportementales des enfants présentant un TDAH à la suite du traitement les prédisposent à collaborer davantage et à être plus réfléchis et attentifs en situation d'évaluation. Ces prédispositions leur permettent ainsi une performance plus représentative de leurs véritables potentialités. D'ailleurs, chez des jeunes d'intelligence normale qui ne présentent pas de TDAH, le neurofeedback n'a eu aucun effet sur la mesure d'intelligence (Fritson, Wadkins, Gerdes, & Hof, 2008). Dans leur méta-analyse, Frazier, Demaree et Yougstrom (2004) rapportent un déficit significatif à la mesure de QI chez les enfants présentant un TDAH relatif à ceux qui n'en présentent pas, estimé à environ 9 points au QIG. En traitant les symptômes comportementaux du TDAH, il est donc peu surprenant d'observer des gains à l'évaluation du fonctionnement intellectuel à la suite du neurofeedback. Rappelons que pour la médication psychostimulante, on rapporte des gains moyens au QIG de 2 à 7 points chez les enfants qui présentent un TDAH (Gimpel et al., 2005; Jepsen et al., 2009), ce qui suggère que le rattrapage dû à la médication n'en soit que partiel.

Par ailleurs, nous n'avons pu reproduire les résultats prétendus par l'équipe des Othmer (Fleischman & Othmer, 2005; Othmer et al., 1991) qui rapportent une augmentation du QIG de 23 points. Il est vrai que la technique, les paramètres d'entraînement ainsi que la problématique clinique présentée par les participants sont bien différents de ce qui a été utilisé dans le cadre de la recherche actuelle et sont donc difficilement comparables. Toutefois, les données publiées dans le domaine du neurofeedback font généralement état d'une amélioration moyenne du QI de tout au plus 12 points (Thompson & Thompson, 1998), ce qui s'approche davantage de ce qui a été obtenu lors de notre expérimentation principale.

### *Limitations*

Malgré tous les efforts que nous avons déployés pour mettre en place un projet crédible et scientifiquement irréprochable, en tenant compte de ce qui avait été fait

précédemment, des critiques portant sur les études publiées antérieurement, ainsi que des critères de qualité scientifique dictés par des groupes de chercheurs et/ou organismes tels que les « Evidence-based medicine working group » (Guyatt, Sackett, & Cook, 1993), Déclaration d'Helsinki (2004) ainsi que Chambless et Hollon (1998), notre recherche présente quelques faiblesses.

Tout d'abord, les limitations de temps, d'effectifs et de budget ont limité le nombre de participants que nous avons pu recruter. Ainsi, bien que nous aurions aimé recueillir des résultats auprès de plus d'une centaine de participants, comme Monastra et al. (2002) l'ont fait, seulement 31 enfants ont pu participer à l'expérimentation principale de notre recherche. Étant donné le petit nombre de participants (46 en tout dont seulement 19 recevant du vrai neurofeedback) par rapport au nombre relativement élevé de variables, force est d'admettre que la puissance des résultats s'en trouve diminuée. Il est donc possible que les résultats obtenus minimisent les effets réels de ce type de traitement. Toutefois, d'un point de vue pratique et clinique plutôt que théorique, en ce qui concerne un outil d'intervention, il est plus souhaitable d'avoir un traitement qui présente un grand effet auprès d'un nombre limité de participants que d'avoir un petit effet observé sur un grand nombre de participants. Ainsi, un traitement long et coûteux qui aurait besoin de cent participants pour produire un effet significatif à  $p < .05$  n'en vaut probablement pas la peine.

En ce qui concerne les participants, nous aurions souhaité recruter des enfants présentant seulement un TDAH, sans comorbidité, comme l'ont tenté d'autres chercheurs (e.g.: Lévesque et al., 2006; Perreau-Linck et al., 2010). Toutefois, les enfants qui ne souffrent d'aucun trouble concomitant, ne représentent qu'une minorité des enfants affectés par le TDAH, ce qui a nui au recrutement fait par d'autres chercheurs (e.g.: Perreau-Linck et al., 2010). La proportion d'enfants avec TDAH mais sans comorbidité est effectivement estimée à tout au plus 31% (MTA, 1999 cité par Barkley lors de sa conférence à CADDRA, 2007), bien que Barkley lui-même estime plutôt cette proportion à 15-20%. Il est donc irréaliste d'espérer recruter des enfants sans comorbidité, tout en respectant les délais imposés dans le cadre d'une recherche doctorale. De plus, l'apparition d'un trouble associé peut se présenter à n'importe quel moment et il est inévitable, et difficile à prévoir, que parmi les participants d'une étude en cours, certains



se voient présenter une nouvelle problématique latente au moment du recrutement. Finalement, les enfants ne présentant aucune comorbidité pourraient être considérés comme non représentatifs de cette population puisqu'ils ne constituent qu'une minorité des enfants présentant un TDAH.

Pour ce qui est des outils de mesures sélectionnés, particulièrement les questionnaires comportementaux, nous avons constaté que les échelles utilisées présentaient des niveaux de sensibilité différents. Ainsi, alors que des différences au plan des comportements associés au TDAH ont été objectivées sur certaines échelles (DuPaul par exemple), d'autres se sont révélées beaucoup moins sensibles à ces changements (SDQ par exemple). Il faut dire que ces échelles présentent un nombre de questions sur le TDAH plus ou moins important, ainsi qu'un choix de réponses plus ou moins diversifié. Il semble que ces facteurs aient eu un effet sur les résultats. Par exemple, le DuPaul offre une gradation de quatre choix de réponses (variant de 0 « n'est pas vrai du tout » à 3 « est très vrai ») alors que les questionnaires SDQ et CBCL offrent une gradation de 3 choix de réponses (variant de 0 « ne s'applique pas » à 2 « toujours ou souvent vrai »). Puisque l'étalement des choix de réponse offerts au DuPaul est plus grand, cette mesure s'avère plus sensible aux différences plus modestes par rapport aux autres questionnaires. De plus, le DuPaul présente 18 questions portant strictement sur les comportements associés au TDAH alors que le CBCL en contient une dizaine et qu'il n'y en a que cinq au SDQ. Il conviendra dans un prochain projet de tenir compte de ce facteur dans le choix des tests. Un questionnaire, tel le ADDES utilisé par Monastra et al. (2002), offrant un choix de réponses plus nombreux et plus précis (e.g.: « plusieurs fois par jour » plutôt que « souvent »), devrait être privilégié.

Finalement, étant donné l'inclusion d'une condition placebo, nous avons fait le choix d'utiliser un protocole d'entraînement standardisé. Toutefois, il est possible que le manque de flexibilité imposé par ce choix ait eu pour conséquence d'amoindrir les effets du neurofeedback. Ainsi, certains chercheurs, comme Monastra et al. (2002), ont offert à leurs participants un entraînement de neurofeedback dont le nombre de séances était adapté à chaque enfant (l'entraînement se poursuivait jusqu'à ce que l'activité corticale lente au EEGq soit normalisée pour trois séances consécutives, soit de ne pas être à plus de 1 écart type au dessus de la moyenne selon la base de données de Monastra et al.,

1999). Notre protocole de placebo dérivé d'entraînements de participants en phase 1 aurait effectivement pu permettre une telle approche (jusqu'à normalisation de l'EEG); les résultats auraient peut-être été plus nets. D'autres chercheurs, comme Fuchs et al. (2003) ont, quant à eux, sélectionné les paramètres d'entraînement selon les besoins individuels de leurs participants (sites des électrodes, bandes de fréquences). Or, dans le cadre du présent projet, l'entraînement de neurofeedback offert s'est fait avec les mêmes paramètres pour tous les participants du groupe entraîné (vrai neurofeedback comme placebo), soit la localisation des électrodes, les bandes de fréquences entraînées et le nombre de séances peu importe leur âge, leur EEG de base et les changements observés (tant au niveau du comportement qu'à l'EEG). Cela aussi aurait pu apporter des résultats plus spectaculaires encore.

Bazanov et Aftanas (2006) ont fait quelques études de cas auprès d'enfants et adultes présentant un TDAH afin de comparer deux protocoles de neurofeedback, l'un utilisant des paramètres standards et l'autre, des paramètres choisis selon l'EEG et l'âge du participant. Ces auteurs rapportent des effets beaucoup plus importants pour le deuxième type d'entraînement. Il faut toutefois reconnaître que l'ajout d'un critère de flexibilité lors de l'élaboration du protocole d'entraînement complique grandement le double insu d'une étude avec condition placebo, mais sommes d'avis qu'il pourrait être pertinent d'explorer cette possibilité dans un projet éventuel.

### *Conclusions par Rapport aux Données*

Ce que nous souhaitons que le lecteur retienne de ces résultats est, dans un premier temps, que le neurofeedback présente certains effets qui semblent réels et mesurables chez les enfants qui présentent un TDAH et qui ne peuvent être expliqués par un simple effet placebo.

Dans un deuxième temps, cette recherche a permis de développer une méthodologie de recherche convaincante qui permette à la fois le double insu et l'inclusion d'une condition placebo dont l'effet puisse être évalué par comparaison à un groupe en liste d'attente. À notre connaissance, ceci n'a jamais été réalisé en neurofeedback. Nous espérons donc que ces méthodologies (méthode pour le double insu

et groupe sans intervention) puissent être utilisées par d'autres dans le cadre d'autres projets de recherche.

### *Les Implications Théoriques et Pratiques des Résultats*

Au plan théorique, bien que ces résultats permettent de confirmer que les effets observés sont réels et spécifiques au neurofeedback, ils ne peuvent expliquer davantage le fonctionnement de cette approche. En effet, sachant que les améliorations observées portaient sur les symptômes comportementaux du TDAH (tant aux mesures comportementales qu'intellectuelles), nous pouvons seulement déduire que l'entraînement de ces bandes EEG spécifiques par neurofeedback produit des changements comportementaux chez les enfants présentant un TDAH. Toutefois, les mécanismes qui sous-tendent ces changements ne peuvent être mis en évidence avec les données recueillies au-delà de l'exclusion d'un simple effet placebo. Afin de mieux comprendre ces mécanismes, davantage de recherches sont nécessaires pour être en mesure de comprendre comment l'entraînement EEG peut produire de tels résultats. Par exemple, les améliorations comportementales observées pourraient être le résultat d'une amélioration des capacités d'inhibition secondaire à l'entraînement de bandes EEG spécifiques, ce dont les présents résultats ne permettent pas de juger.

Pour l'instant, une explication théoriquement minimale peut être avancée, bien qu'elle ne puisse se vérifier sur la base des données de la présente thèse. Ainsi, malgré que les parents signalent des améliorations sur la dimension *inattention* des questionnaires, un effet direct du neurofeedback sur l'attention ne peut être établi sur la base des résultats observés. L'effet sur l'attention pourrait être indirect, découlant du contrôle acquis sur les comportements d'agitation. En effet, l'augmentation de l'amplitude du RSM (12-15 Hz), bande de fréquences entraînée au niveau du cortex sensorimoteur droit (C4), se produit vraisemblablement en désactivant l'activation sensorimotrice (Sternan, 2000). Thompson et Thompson (2003) expliquent que l'augmentation de l'activité des fréquences 11-15 Hz est généralement associée à un état d'internalisation, plus propice à la réflexion. Selon les mêmes auteurs, l'augmentation de l'amplitude de ces ondes serait également associée à un état de calme à la fois physique et mental. Des indices physiologiques de cet état de calme tels qu'une respiration

diaphragmatique, une musculature relâchée, une température périphérique normale peuvent aussi être observés. De même, alors qu'il peut être difficile pour un enfant de bien saisir ce que veut dire se détendre, cet état peut être atteint sous guidance de l'EEG et alors commencer à être de mieux en mieux identifié. Ainsi, bien que nous ne sachions pas s'il s'agit de la seule source de l'effet rapporté par les parents, les présents résultats peuvent se comprendre par l'apprentissage à se détendre. Les parents constatant à la maison que leur enfant tient davantage en place, par exemple lorsqu'il fait ses devoirs, peuvent inférer qu'il est devenu plus attentif. Toutefois, ce n'est pas nécessairement sa capacité d'attention qui s'est directement améliorée.

D'un point de vue intervention clinique, il est encore bien trop tôt pour dire que le neurofeedback en vaille le prix. En effet, le neurofeedback est un traitement coûteux qui n'est pas encore couvert par le système public. En secteur privé, il y a peu de thérapeutes certifiés au Québec et ceux qui le sont, ne sont pas tous membres d'un ordre professionnel. Ceci implique que les séances de neurofeedback ne seront pas remboursées par les assurances ou ne pourront être déduites comme dépenses médicales.

D'un point de vue déontologique, le fait que les thérapeutes ne soient pas membres d'un ordre professionnel pose un problème éthique puisqu'ils n'ont pas à répondre de leurs actes et que leurs clients ont peu de recours en cas de plainte.

Quant au coût associé à un traitement de neurofeedback, il n'est pas que monétaire, puisque l'implication temps-efforts des parents et de l'enfant doit aussi être considérée. En effet, un programme d'entraînement de neurofeedback peut nécessiter plus d'une quarantaine de séances d'une heure chacune. Malgré tout, certains diront que le neurofeedback en vaut vraiment la peine lorsqu'il offre des effets significatifs, bien que le degré de satisfaction demeure subjectif et très différent d'une personne à l'autre.

### *Ouverture vers d'Autres Sujets à Aborder*

Des résultats concernant l'utilisation du neurofeedback dans le traitement du TDAH sont publiés depuis de nombreuses années. Malgré tout, cette technique n'est toujours pas considérée, par les communautés scientifique et médicale, comme un outil d'intervention efficace dans le traitement des symptômes de ce trouble. Sachant maintenant que ses effets sont réels, mais qu'un programme de neurofeedback demeure

très coûteux, en termes d'argent et de temps, et que des résultats significatifs ne sont pas garantis, il nous paraît nécessaire de trouver des moyens d'optimiser ce traitement. Ceci pourrait se faire de plusieurs façons tel que par l'optimisation des conditions d'entraînement (nombres, durée et fréquence des séances, renforcements, paramètres des fréquences entraînées, constance des entraîneurs...). Nous sommes aussi d'avis que l'intégration du neurofeedback dans le cadre d'un programme multimodal pourrait être une excellente façon d'en optimiser l'efficacité. En effet, tel que l'a fait l'équipe de Monastra (2002) et comme le recommande aussi l'équipe de Gevensleben et al. (2009) dans la discussion de ses résultats, la combinaison de diverses mesures d'intervention, dont le neurofeedback, semble plus efficace que chacune de ces interventions utilisées individuellement. Ainsi, il est possible que le recours de façon simultanée au neurofeedback, à la médication psychostimulante, à la guidance parentale et à l'intervention scolaire puisse expliquer la très grande efficacité démontrée par les résultats publiés en 2002 par Monastra et al. De plus, la prise en charge « multimodale » des enfants présentant un TDAH est désormais préconisée par de nombreux chercheurs (ex: Pelham & Fabiano, 2008) ainsi que par certains organismes œuvrant auprès de cette clientèle (ex: CADDRA). Le neurofeedback, étant donné le suivi régulier qu'il nécessite, offre cette prise en charge qui pourrait très bien s'inscrire dans un processus multimodal. Comme l'a démontré Monastra (2005), le suivi serré de cette clientèle permet une meilleure adhérence au traitement. L'optimisation du neurofeedback constitue donc une excellente voie de recherche puisque plusieurs questions sont encore en quête de réponses.

Parallèlement, il va de soi que le maintien des acquis dans le temps constitue aussi une question à laquelle il faudra répondre incessamment. En effet, le neurofeedback pourrait certainement devenir à moyen terme un outil d'intervention reconnu, particulièrement si le maintien de ses effets dans le temps était mis en évidence. À ce sujet, quelques auteurs ont déjà publié des résultats intéressants et des effets ont été observés sur 6 mois (Leins et al., 2007), 2 ans (Becerra et al., 2006) et même 10 ans (Tansey, 1993) après la fin des entraînements.

### *Conclusion*

Il importe de retenir que l'élaboration d'un protocole à double insu avec condition placebo dans le cadre de la présente thèse a permis de confirmer que les effets du neurofeedback dans le traitement du TDAH sont attribuables au traitement, ceux-ci étant plus importants que ceux d'un placebo. La communauté scientifique entretenait de grandes réserves à ce sujet, puisqu'aucun résultat publié n'avait, jusqu'à présent, réussi à la satisfaire. Bien qu'une contribution placebo aux effets observés ne soit pas formellement écartée, des effets réels du neurofeedback sont maintenant documentés et la poursuite de la recherche dans ce domaine nous paraît donc tout à fait justifiée.

## BIBLIOGRAPHIE

- Achenbach, T. M., McConaughy, S. H., & Howell, C. T. (1987). Child/adolescent behavioural and emotional problems: Implications of cross-informant correlations for situational specificity. *Psychological Bulletin*, 101, 213-232.
- Achenbach, T. M. & Rescorla, L. A. (2001). *Manual for the ASEBA School-Age Forms & Profiles*. Burlington, VT: University of Vermont, Research Center for Children, Youth, & Families.
- Amen, D. G. & Carmichael, B. D. (1997). High resolution brain SPECT imaging in ADHD. *Annals of clinical psychiatry*, 9, 81-86.
- American Psychiatric Association. (2001). *DSM-IV-TR. Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (4<sup>e</sup> éd. révisée). Washington, DC: Author.
- Arnold, L. E. (2001). Alternative treatments for adults with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Annals New York academy of sciences*, 931, 310-341.
- Arnold, L. E. (1999). Treatment alternatives for attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of attention disorders*, 3, 30-48.
- Arns, M., de Ridder, S., Strehl, U., Breteler, M., & Coenen, A. (2009). Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: A meta-analysis. *Clinical EEG and neuroscience*, 40, 180-189.
- Association médicale mondiale. (2000). *Déclaration d'Helsinki de l'association médicale mondiale: Principes éthiques applicable aux recherches médicales sur des sujets humains*.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin*, 121, 65-94.
- Barkley, R. A. (1998). *Attention-deficit Hyperactivity disorder: Handbook for diagnosis and treatment* (2e éd.). New York, NY: Guilford Press.
- Barkley, R. A. (2006). *Attention-deficit Hyperactivity disorder: A Handbook for diagnosis and treatment* (3e éd.). New York, NY: Guilford Press.
- Barkley, R. A. (2007). *Optimizing ADHD treatment: impact of subtyping and comorbidity*. Conférence présentée au congrès du Canadian ADHD resource alliance (CADDRA), Montréal, Canada.



- Barry, R. J., Clarke, A. R., Johnstone, S. J., McCarthy, R., & Selikowitz, M. (2009). Electroencephalogram  $\alpha/\beta$  ratio and arousal in attention-deficit/hyperactivity disorder: Evidence of independent processes. *Biological psychiatry*, 66, 398-401.
- Baydala, L. & Wikman, E. (2001). The efficacy of neurofeedback in the management of children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Paediatric child health*, 6, 451-455.
- Bazanov, O. & Aftanas, L. (2006). Using individual EEG peculiarities increase neurofeedback efficiency. *Annals of general psychiatry*, 5, S98.
- Becerra, J., Fernandez, T., Harmony, T., Caballero, M. I., Garcia, F., Fernandez-Bouzas, A., et al. (2006). Follow-up study of learning-disabled children treated with neurofeedback or placebo. *Clinical EEG and neuroscience*, 37, 198-203.
- Braun, C. M. J., Suffren, S., Delisle, J., & Bolduc, M. (sous presse). Left visuomotor unawareness in adult ADHD (combined type) on a test of executive function. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*.
- Canadian ADHD resource alliance (CADDRA) (2011). *Lignes directrices pour le TDAH* (3<sup>e</sup> éd.). Toronto, ON: CADDRA.
- Casey, B. J., Castellanos, F. X., Giedd, J. N., Marsh, W. L., Hamburger, S. D., Schubert, A. B. et al. (1997). Implication of right frontostriatal circuitry in response inhibition and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the american academy of child and adolescent psychiatry*, 36, 374-383.
- Chabot, R. J., di Michele, F., Prichep, L., & John, E. R. (2001). The clinical role of computerized EEG in the evaluation and treatment of learning and attention disorders in children and adolescents. *Journal of neuropsychiatry and clinical neuroscience*, 13, 171-186.
- Chabot, R. J., Orgill, A. A., Crawford, G., Harris, M. J., & Serfontein, G. (1999). Behavioral and electrophysiologic predictors of treatment response to stimulants in children with attention disorders. *Journal of child neurology*, 14, 343-351.
- Chabot, R. J. & Serfontein, G. (1996). Quantitative electroencephalographic profiles of children with attention deficit disorder. *Biological Psychiatry*, 40, 951-963.
- Chambless, D. L., & Hollon, S. D. (1998). Defining empirically supported therapies. *Journal of consulting and clinical psychology*, 66, 7-18.



- Clarke, A. R., Barry, R. J., Bond, D., McCarthy, R., & Selikowitz, M. (2002). Effects of stimulant medications on the EEG of children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychopharmacology*, 164, 277-284.
- Clarke, A. R., Barry, R. J., McCarthy, R. & Selikowitz, M. (1998). EEG analysis in attention-deficit/hyperactivity disorder: A comparative study of two subtypes. *Psychiatry research*, 81, 19-29.
- Clarke, A. R., Barry, R. J., McCarthy, R., & Selikowitz, M. (2001). EEG-defined subtypes of children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical neurophysiology*, 112, 2098-2105.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2e éd.). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.
- deBeus, R., & Kaiser, D. A. (2010). Neurofeedback with children with attention deficit hyperactivity disorder: A randomized double-blind placebo-controlled study. Dans R. Cohen & J. Evans (Eds), *Neurofeedback and neuromodulation techniques and applications* (pp. 127-152). Londres: Academic press.
- Dunn, T. G., Gillig, S. E., Ponser, S. E., Weil, N., & Utz, S. W. (1986). The learning process in biofeedback: Is it feed-forward or feedback ? *Biofeedback and self regulation*, 12, 169-184.
- DuPaul, G. J, Barkley, R. A., & Connor, D. F. (1998). Stimulants. Dans R. A. Barkley (Ed), *Attention-deficit hyperactivity disorder: A handbook for diagnosis and treatment* (pp. 510-551). New York, NY: Guilford Press.
- DuPaul, G. J., Power, T. J., Anastopoulos, A. D., & Reid, R. (1998). *ADHD Rating Scale IV*. New York, NY: Guilford Press.
- Egner, T. & Gruzelier, J. H. (2004). EEG biofeedback of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115, 131-139.
- Faraone, S. V., Sergeant, J., Gillberg, C., & Biederman, J. (2003). The worldwide prevalence of ADHD: Is it an American condition?. *World psychiatry*, 2, 104-113.
- Filipek, P. A., Semrud-Clikeman, M., Steingard, R. J., Renshaw, P. F., Kennedy, D. N., & Biederman, J. (1997). Volumetric MRI analysis comparing subjects having attention-deficit hyperactivity disorder with normal controls. *Neurology*, 48, 589-601.

- Fleischman, M. J. & Othmer, S. (2005). Case study: Improvement in IQ score and maintenance of gains following EEG biofeedback with mildly developmentally delayed twins. *Journal of neurotherapy*, 9, 35-46.
- Frazier, T. W., Demaree, H. A., & Youngstrom, E. A. (2004). Meta-analysis of intellectual and neuropsychological test performance in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neuropsychology*, 18, 543-555.
- Fritson, K. K., Wadkins, T. A., Gerdes, P., & Hof, D. (2008). The impact of neurotherapy on college students' cognitive abilities and emotions. *Journal of neurotherapy*, 11, 1-9.
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J. H., & Kaiser, J. (2003). Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: A comparison with methylphenidate. *Applied psychophysiological biofeedback*, 28, 1-12.
- Furedy, J. J. (1987). Specific versus placebo effects in biofeedback training: A critical lay perspective. *Biofeedback and self-regulation*, 12, 169-184.
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., et al. (2010). Neurofeedback training in children with ADHD: 6-month follow-up of randomised controlled trial. *European child and adolescent psychiatry*, 19, 715-724.
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Vogel, C., Schlamp, D., Kratz, O., et al. (2009). Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. *Child psychology and psychiatry*, 50, 780-789.
- Gimpel, G. A., Collett, B. R., Veeder, M. A., Gifford, J. A., Sneddon, P., Bushman, B., et al. (2005). Effects of stimulant medication on cognitive performance of children with ADHD. *Clinical pediatrics*, 44, 405-412.
- Goodman, R. (1997). The strengths and difficulties questionnaire: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38, 581-586.
- Gruzelier, J., Hardman, E., Wild, J., & Zaman, R. (1999). Learned control of slow potential interhemispheric asymmetry in schizophrenia. *International Journal of Psychophysiology*, 34, 341-348.
- Guyatt, G. H., Sackett, D. L., & Cook, D. J. (1993). User's guides to the medical literature. II. How to use an article about therapy or prevention. A. Are the results of the study valid? Evidence-based medicine working group. *JAMA*, 270, 2598-2601.

- Hammond, C. (2007). What is neurofeedback?. *Journal of neurotherapy*, 10, 25-36.
- Hammond, C. & Kirk, L. (2008). First, do no harm: Adverse effects and the need for practice standards in neurofeedback. *Journal of neurotherapy*, 12, 79-88.
- Heywood, C. & Beale, I. (2003). EEG biofeedback vs. placebo treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder: A pilot study. *Journal of attention disorders*, 7, 43-55.
- Holroyd, K. A., Penzien, D. B., Hursey, K. G., Tobin, D. L., Rogers, L., Holm, J. E., et al. (1984). Change mechanism in EMG biofeedback training: Cognitive changes underlying improvements in tension headache. *Journal of consulting and clinical psychology*, 52, 1039-1053.
- Jepsen, J. R. M., Fagerlund, B., & Mortensen, E. L. (2008). Do attention deficits influence IQ assessment in children and adolescents with ADHD. *Journal of attention disorders*, 12, 551-562.
- Kropotov, J. D., Grin-Yatsenko, V. A., Ponomarev, V. A., Chutko, L. S., Yakovenko, E. A., & Nikishena, I. S. (2007). Changes in EEG spectrograms, event-related potentials and event-related desynchronization induces by relative beta training in ADHD children. *Journal of neurotherapy*, 11, 3-11.
- LaCroix, J. M. (1984). Mechanism of biofeedback control: On the importance of verbal (conscious) processing. *Psychophysiology*, 18, 573-587.
- Leins, U., Goth, G., Hinterberger, T., Klinger, C., Rumpf, N., & Strehl, U. (2007). Neurofeedback for children with ADHD: A comparison of SCP and Theta/Beta protocols. *Applied psychophysiological biofeedback*, 32, 73-88.
- Lévesque, J., Beauregard, M., & Mensour, B. (2006). Effects of neurofeedback training in the neural substrates of selective attention in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience letters*, 394, 216-221.
- Linden, M., Habib, T., & Radojevic, V. (1996). A controlled study of the effects of EEG biofeedback on cognition and behavior of children with attention deficit disorder and learning disabilities. *Biofeedback and self regulation*, 21, 35-49.
- Loo, S. K. & Barkley, R. A. (2005). Clinical utility in attention deficit hyperactivity disorder. *Applied neuropsychology*, 12, 64-76.

- Loo, S. K., Teale, P. D., & Reite, M. L. (1999). EEG correlates of methylphenidate response among children with ADHD: A preliminary report. *Biological psychiatry*, 45, 1657-1660.
- Lubar, J. F., & Bahler, W. W. (1976). Behavioral management of epileptic seizures following EEG biofeedback training of the sensorimotor rhythm. *Biofeedback and self-regulation*, 1, 77-104.
- Lubar, J. F., Swartwood, M. O., Swartwood, J. N., & O'Donnell, P. (1995). Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical setting as measured by changes in T.O.V.A. scores, behavioral ratings, and WISC-R performance. *Biofeedback and self-regulation*, 20, 83-99.
- Mann, C. A., Lubar, J. F., Zimmerman, A. W., Miller, C. A., & Muenchen, R. A. (1992). Quantitative analysis of EEG in boys with attention-deficit-hyperactivity disorder: controlled study with clinical implications. *Pediatric Neurology*, 8, 30-36.
- Martin, G. & Johnson, C. L. (2006). The boys totem town neurofeedback project: A pilot study of EEG biofeedback with incarcerated juvenile felons. *Journal of neurotherapy*, 9, 71-86.
- Meichenbaum, D. (1976). Cognitive factors in biofeedback therapy. *Biofeedback and self-regulation*, 1, 201-216.
- Monastra, V. J., Lubar, J. F., & Linden, M. K. (2001). The development of a quantitative electroencephalographic scanning process for attention deficit/hyperactivity disorder: Reliability and validity studies. *Neuropsychology*, 15, 136-144.
- Monastra, V. J., Lubar, J. F., Linden, M., VanDeusen, P., Green, G., Wing, W., et al. (1999). Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: an initial validation study. *Neuropsychology*, 13, 424-433.
- Monastra, V. J., Lynn, S., Linden, M., Lubar, J. F., Gruzelier, J., & LaVaque, T. J. (2005). Electroencephalographic biofeedback in the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 30, 95-114.
- Monastra, V. J., Monastra, D. M., & George, S. (2002). The effects of stimulant therapy, EEG biofeedback, and parenting style on the primary symptoms of attention-

- deficit/hyperactivity disorder. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 27, 231-49.
- Moore, N. C. (2000). A review of EEG biofeedback treatment of anxiety disorder. *Clinical electroencephalography*, 31, 1-6.
- The MTA Cooperative Group (1999). A 14-months randomized clinical trial of treatment strategies for attention deficit/hyperactivity disorder. *Archive of general psychiatry*, 56, 1073-1086.
- Nash, J. K. (2000). Treatment of attention deficit hyperactivity disorder with neurotherapy. *Clinical electroencephalography*, 31, 30-37.
- Niedermeyer, E. & Naidu, S. B. (1997). Attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) and frontal-motor cortex disconnection. *Clinical electroencephalography*, 29, 79-90.
- Othmer, S., Othmer, S. F., & Marks, C. S. (1991). EEG biofeedback training for attention deficit disorder, specific learning disabilities, and associated conduct problems. Retrieved from <http://www.eegspectrum.com/Applications/ADHD-ADD/ADD-SLD-ACPIIntro/>
- Pelham, W. E. & Fabiano, G. A. (2008). Evidence-based psychosocial treatments for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of clinical child and adolescent psychology*, 37, 184-214.
- Perreau-Linck, E., Lessard, N., Lévesque, J., & Beauregard, M. (2010). Effects of neurofeedback training on inhibitory capacities in ADHD children: A single-blind, randomized, placebo-controlled study. *Journal of neurotherapy*, 14, 229-242.
- Pop-Jordanova, N. & Chakalaroska, I. (2005). Comparison of biofeedback modalities for better achievement in high school students. *Macedonian journal of medical sciences*, 1, 25-30.
- Robbins, J. (2000). *A symphony in the brain: The evolution of the new brain wave biofeedback*. New York, NY: Grove press.
- Robert, A. H. (1985). Biofeedback. *American psychologist*, 40, 938-941.
- Robert, A. H. (1986). Biofeedback, science and training. *American psychologist*, 41, 1010.
- Rosenfeld, J. P. (2000). An EEG biofeedback protocol for affective disorders. *Clinical electroencephalography*, 31, 7-12.

- Rossiter, T. (2004). The effectiveness of neurofeedback and stimulant drugs in treating ADHD: Part II. Replication. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 29, 233-243.
- Rubia, K., Overmeyer, S., Taylor, E., Brammer, M., Williams, S. C. R. Simmons, A., et al. (1999). Hypofrontality in attention deficit hyperactivity disorder during higher-order motor control: A study with functional MRI. *American journal of psychiatry*, 156, 891-896.
- Schulz, K. P., Fan, J., Tang, C.Y., Newcorn, J. H., Buchsbaum, M. S., Cheung, A. M., et al. (2004). Response inhibition in adolescents diagnosed with attention deficit hyperactivity disorder during childhood: An event-related fMRI study. *American journal of psychiatry*, 161, 1650-7.
- Schwartz, N. M. & Schwartz, M. S. (2003). Definitions of biofeedback and applied psychophysiology. Dans M. S. Schwartz & F. Andrasik (Eds). *Biofeedback: A practitioner's guide* (pp. 27-39). New York, NY: Guilford press.
- Seifert, A. R., & Lubar, J. F. (1975). Reduction of epileptic seizures through EEG biofeedback training. *Biological psychology*, 3, 157-184.
- Siniatchkin, M., Kropp, P., & Gerber, W. D. (2000). Neurofeedback-The significance of reinforcement and the search for an appropriate strategy for the success of self-regulation. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 25, 167-175.
- Somsen, R. J. M., van't Klooster, B. J., van der Molen, M. W., van Leeuwen, H. M. P., & Litch, R. (1997). Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra. *Biological psychology*, 44, 187-209.
- Sterman, M. B. (1996). Physiological origins and functional correlates of EEG rhythmic activities: Implications for self-regulation. *Biofeedback and self-regulation*, 21, 3-33.
- Sterman, M. B. (2000). Basic concepts and clinical findings in the treatment of seizure disorders with EEG operant conditioning. *Clinical electroencephalography*, 31, 45-55.
- Sterman, M. B., Macdonald, L. R., & Stone, R. K. (1974). Biofeedback training of the sensorimotor electroencephalogram rhythm in man: Effects on epilepsy. *Epilepsia*, 15, 395-416.

- Swanson, J. M., McBurnett, K., Wigal, T., Pfiffner, L. J., Lerner, M. A., Williams, L., et al. (1993). Effect of stimulant medication on children with attention deficit disorder: A "review of reviews". *Exceptional Children*, 60, 154-162.
- Swingle, P. G. (2008). Biofeedback for the brain: how neurotherapy effectively treats depression, ADHD, autism, and more. Piscataway, NJ: Rutgers university press.
- Tansey, M. A. (1991). Wechsler (WISC-R) changes following treatment of learning disabilities via EEG biofeedback training in a private practice setting. *Australian journal of psychology*, 43, 147-153.
- Tansey, M. A. (1993). Ten-year stability of EEG biofeedback results for a hyperactive boy who failed fourth grade perceptually impaired class. *Biofeedback and self regulation*, 18, 33-44.
- Thatcher, R. W. (2000). EEG operant conditioning (biofeedback) and traumatic brain injury. *Clinical electroencephalography*, 31, 38-44.
- Thompson, L., & Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies: Effectiveness in students with ADD. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 23, 243-263.
- Thompson, M., & Thompson, L. (2003). *The neurofeedback book*. Wheat Ridge, CO: The association for applied psychophysiology and biofeedback.
- Toplak, M. E., Connors, L., Shuster, J., Knezevic, B., & Parks, S. (2008). Review of cognitive, cognitive-behavioral, and neural-based interventions for attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Clinical psychology review*, 28, 801-823.
- Trudeau, D. L. (2000). The treatment of addictive disorders by brain wave biofeedback: A review and suggestions for future research. *Clinical electroencephalography*, 31, 13-22.
- Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., et al. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47, 75-85.
- Vernon, D., Frick, A., & Gruzelier, J. (2004). Neurofeedback as a treatment for ADHD: A methodological review with implications for future research. *Journal of neurotherapy*, 8, 53-82.

- Wasserstein, J., Wolf, L., & LeFever, F. F. (2001). Adult attention deficit disorder: Brain mechanism and life outcome. *Annals of the New York Academy of Science*, 931, 1-409.
- Weschler, D. (2004). Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants, version pour francophones du Canada (WISC-IV-CDN): Manuel d'administration, édition recherche (4<sup>e</sup> éd.). San Antonio, TX: The psychological corporation.
- Wolraich, M. L., Lambert, E. W., Bickman, L., Simmons, T., Doffing, M. A., & Worley, K. A. (2004). Assessing the impact of parent and teacher agreement on diagnosing attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of developmental & behavioral pediatrics*, 25, 41-47.
- Zametkin, A. J., Nordahl, T. E., Gross, M., King, A. C., Semple, W. E., Rumsey, J., et al. (1990). Brain metabolism in hyperactive adults with childhood onset. *New England Journal of Medicine*, 323, 1361-1366.
- 1361-1366.



## APPENDICE A

Tableau A1

*Protocoles utilisés dans diverses recherches en neurofeedback*

Publication	Groupes (nombre et particularités des participants)	Type de montage	Localisation de l'électrode selon le système international 10-20	Bandes de fréquences renforcées (R) et/ou inhibées (I)
Bazanov & Aftanas, 2006	1. Neurofeedback (1 enfant avec TDAH) 2. Neurofeedback (1 adulte présentant de la douleur)	Non spécifié	Non spécifié	1. R: Bêta I: Thêta 2. R: Alpha
Becerra et al., 2006	1. Neurofeedback (5 enfants avec troubles d'apprentissage) 2. Placebo (5 enfants avec troubles d'apprentissage)	Monopolaire	Site où le ratio Thêta/Alpha est le plus anormalement élevé parmi 19 sites enregistrés	1. Diminution du ratio Thêta/Alpha
deBeus & Kaiser, 2010	1. Neurofeedback-Placebo vs Placebo-Neurofeedback (42 enfants avec TDAH ont complété les deux phases)	Monopolaire	Fz	R: 12-20 Hz I: 4-8 Hz 8-12 Hz
Egner & Gruzelier, 2004	1. Neurofeedback Bêta 1 (8 adultes sains, musiciens) 2. Neurofeedback RSM (9 adultes sains, musiciens) 3. Technique Alexander (8 adultes sains, musiciens) qui travaille la posture	Monopolaire	Cz	1. R: 15-18 Hz I: 4-7 et 22-30 Hz 2. R: 12-15 Hz I: 4-7 et 22-30 Hz
Egner et al., 2004	1. Bêta 1 (9 adultes sains, musiciens) 2. RSM (9 adultes sains, musiciens) 3. Alpha/Thêta (8 adultes sains, musiciens)	Monopolaire	1. C3 2. C4 3. Pz	1. R: 15-18 Hz I: 4-7 et 22-30 Hz 2. R: 12-15 Hz I: 4-7 et 22-30 Hz 3. R: 5-8 et 8-11 Hz

Fleischman & Othmer, 2005	1. Études de cas (2 jumelles présentant des troubles développementaux modérés)	Cz	Monopolaire	1. R: 12-15 ou 15-18 Hz I: 4-7 et 22-30 Hz
Fuchs et al., 2003	1. Neurofeedback (22 enfants avec TDAH) 2. Médication (12 enfants avec TDAH)	C4 (impulsif-hyperactif) C3 (inattentif) C4 et C3 (profil mixte)	Monopolaire	C4. R: 12-15 Hz I: 4-7 et 22-30 Hz C3. R: 15-18 Hz I: 4-7 et 22-30 Hz
Gevensleben et al., 2009	1. Neurofeedback (59 enfants avec TDAH) 2. Entraînement informatisé (35 enfants avec TDAH)	Cz	Monopolaire	1. R: 13-20 Hz I: 4-8 Hz Et 2. Entraînement des potentiels corticaux lents (SCP)
Heywood & Beale, 2003	1. 7 études de cas : Placebo-neurofeedback-placebo-neurofeedback	Cz	Monopolaire	Neurofeedback R: 12-15 Hz I: 4-8 et 20-30 Hz Placebo Renforcement et inhibition de bandes de fréquences choisies aléatoirement
Hill et al., 2009	30 adultes présentant des difficultés d'apprentissage sont répartis à l'un des 4 groupes suivants : 1. Neurofeedback à Fz 2. Neurofeedback à Cz 3. Neurofeedback à C3 4. Neurofeedback à C4	Fz ou Cz ou C3 ou C4	Monopolaire	R: 12-15 Hz I: 4-8 Hz

Kropotov et al., 2007	1. Neurofeedback (86 enfants avec TDAH)	Monopolaire	Fz-C3 (20 minutes) Et C4-Pz (7-10 minutes)	Fz-C3: Augmentation du ratio de puissance de 15-18 Hz/1-11 et 19-30 Hz  C4-Pz: Augmentation du ratio de puissance de 12-15/1-11 et 19-30 HZ
Leins et al., 2007	1. Thêta/Bêta (19 enfants avec TDAH) 2. SCP (19 enfants avec TDAH)	Monopolaire	1. Thêta/Bêta : électrode placée entre C3 et F3 ou entre C4 et F4 2. SCP : Cz	1. Thêta/Bêta R: 12-20 Hz I: 4-8 Hz 2. SCP
Lévesque et al., 2006	1. Neurofeedback (15 enfants avec TDAH) 2. Attente (5 enfants avec TDAH)	Monopolaire	Cz	1. R: 12-15 Hz (20 séances) et 15-18 Hz (20 séances) I: 4-7 Hz
Linden et al., 1996	1. Neurofeedback (9 enfants avec TDAH) 2. Attente (9 enfants avec TDAH)	Bipolaire	Cz-Pz	R: 16-20 Hz I: 4-8 Hz et artefact musculaire (EMG)
Lubar et al., 1995	1. Neurofeedback (23 enfants avec TDAH)	Bipolaire	mi-chemin Cz-Pz et mi-chemin Fz-Pz	R: 16-20 Hz I: 4-8 Hz et EMG (50-150 Hz)

Martin & Johnson, 2006	1. Neurofeedback (7 adolescents avec TDAH et/ou trouble comportement)	Bipolaire	F3-F4, 1/3 de la séance Et C3-C4, 2/3 de la séance	1. F3-F4 Réduction des amplitudes sur l'ensemble du spectre (2-30 Hz) 2. C3-C4 Idem 3. C3-C4 R: 12-15 Hz I: 2-7 Hz et 20-36 Hz
Monastra et al., 2002	1. Neurofeedback+intervention multi (51 enfants avec TDAH) 2. Intervention multi sans neurofeedback (49 enfants avec TDAH)	Bipolaire	mi-chemin Cz-Pz ou mi-chemin Fz-Pz	R: 16-20 Hz I: 4-8 Hz et EMG (50-150 Hz)
Othmer et al., 1991	1. Neurofeedback (15 enfants avec TDAH et trouble d'apprentissage)	Bipolaire sur l'hémisphère dominant	C1-C5 ou C2-C6	R: 15-18 Hz I: 4-7 Hz et 22-30 Hz
Perreau-Linck et al., 2010	1. Neurofeedback (5 enfants avec TDAH) 2. Placebo (4 enfants avec TDAH)	Monopolaire	C4	R: 12-15 Hz I: 4-8 Hz
Pop-Jordanova & Chakalaroska, 2005	1. Neurofeedback (12 enfants avec TDAH)	Monopolaire	Cz	R: 16-20 Hz I: 4-8 Hz et EMG (40-60 Hz)

Rossiter, 2004	1. Neurofeedback (31 enfants avec TDAH)	Monopolaire	C3 (TDA=15 enfants) C4 (TDAH ou Hyperactivité-impulsivité=16 enfants)	C3 R: 15-18 Hz I: 2-7 Hz et selon l'EEG, 8-11 ou 2-10 Hz C4 R: 12-15 Hz I: 2-7 Hz
	2. Médication (31 enfants avec TDAH)			
Tansey, 1985	1. Études de cas (8 garçons présentant des difficultés d'apprentissage)	Monopolaire	Environ 2,6cm derrière Cz	R: 14 Hz en l'absence de Alpha et EMG
Tansey, 1991	1. Neurofeedback (24 enfants présentant des difficultés d'apprentissage)	Monopolaire	Environ 2,6cm derrière Cz	R: 14 Hz en l'absence de Alpha et EMG I: 7 Hz
Thompson & Thompson, 1998	1. Neurofeedback et métacognition (98 enfants et 13 adultes avec TDAH)	Monopolaire	Cz (dans certains cas : C3 ou C4 ou bipolaire FCz-CPz)	R: 15-18 ou 13-15 Hz I: 4-8 ou 4-11 Hz

## APPENDICE B

### MÉTHODOLOGIE PLACEBO

#### *Introduction*

Bien que le neurofeedback semble démontrer des résultats intéressants pour le traitement du trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH), des critiques ont été formulées concernant la valeur de la preuve dans ce domaine (Baydala & Wikman, 2001; Loo & Barkley, 2005; Ramirez, Desantis, & Opler, 2001). Les auteurs de ces critiques recommandent, entre autres, le recours à une condition placebo pour vérifier la part des effets non spécifiques au neurofeedback tels que la relation thérapeutique ou les techniques enseignées pendant les séances (relaxation, métacognition, ...).

Pour démontrer la spécificité des effets du neurofeedback, les chercheurs ont eu recours à diverses méthodes. On doit d'ailleurs reconnaître les efforts qui ont été faits dans les dernières années pour répondre aux critiques en rapport avec la spécificité du neurofeedback.

#### *Méthodologies Utilisées pour Démontrer la Spécificité du Neurofeedback*

##### *Double Dissociation des Protocoles*

Certains ont eu recours à la double dissociation des protocoles de neurofeedback visant l'entraînement d'habiletés spécifiques. C'est le cas de l'équipe de Gruzelier qui a réussi à démontrer les effets spécifiques de deux protocoles de neurofeedback (rythme sensorimoteur, RSM, 12-14 Hz; ondes Bêta, 15-18 Hz) en les comparant chez des groupes d'adultes « normaux » à l'aide de mesures EEG, comportementales et psychométriques (Egner & Gruzelier, 2004; Gruzelier, Egner, & Vernon, 2006).

Le recours à ce type de méthodologie est pertinent dans la démonstration de la spécificité du neurofeedback mais, à notre connaissance, n'a jamais été utilisé auprès d'une clientèle pédiatrique avec TDAH. Il pourrait d'ailleurs être difficile d'appliquer ce genre de méthodologie à cette population clinique. Dans le cas des enfants présentant un TDAH, ceux-ci ont, le plus souvent, des symptômes à la fois d'inattention et d'hyperagitation-impulsivité. Il nous semble toutefois cliniquement inapproprié de traiter l'inattention sans traiter aussi l'agitation. De plus, on s'attend à ce qu'un traitement sur

l'un ait aussi un effet bénéfique sur l'autre, l'agitation et les fonctions attentionnelles pouvant difficilement être dissociées en contexte d'évaluation.

Un groupe de chercheurs a tout de même tenté de départager les effets spécifiques d'un entraînement de neurofeedback administré sur quatre sites distincts afin de traiter divers symptômes d'inattention tel que l'orientation spatiale et la vigilance (Hill et al., 2009). Ainsi, ils ont évalué les effets du renforcement du RSM simultanément à l'inhibition de Thêta, soit à C3, C4, Cz ou Fz chez des adultes présentant un TDAH. Ils ont observé que l'entraînement de RSM-Thêta entraîne des effets spécifiques au site d'entraînement et qu'un entraînement RSM-Thêta à C4 entraîne des améliorations attentionnelles bilatéralement par rapport à un entraînement à C3.

### *Inversement de Protocoles*

L'inversement de conditions a été utilisé pour faire la démonstration de la spécificité du neurofeedback auprès d'une clientèle pédiatrique présentant un TDAH (Shouse & Lubar, 1979). Dans un premier temps, les participants ont tous bénéficié d'un entraînement où les ondes RSM (12-14 Hz) étaient renforcées et les ondes Thêta (4-7 Hz) inhibées. Après un certain nombre de séances et à l'insu des participants et psychométriciens, le protocole était inversé. Le protocole initial était éventuellement réintroduit. La dernière étape de ce projet consistait à poursuivre les modalités initiales d'entraînement tout en retirant la médication psychostimulante.

Bien qu'un schème expérimental d'inversement de protocoles, qui implique un renversement des paramètres d'entraînement, puisse informer sur la spécificité de la modalité de traitement, le recours à cette méthodologie nous paraît éthiquement discutable. En effet, nous pensons que le renversement de paramètres peut induire une certaine frustration chez le sujet qui perd le contrôle qu'il avait préalablement gagné, malgré le statut temporaire de la situation.

### *Placebo*

Quelques chercheurs ont aussi eu recours à une condition placebo pour démontrer la spécificité du neurofeedback. Divers types de placebo ont été utilisés.

*Ondes aléatoires à partir de l'EEG du participant.*

La condition placebo de Heywood et Beale (2003) consistait en la sélection d'ondes aléatoires et modifiées à toutes les quelques séances. Cette condition placebo était intégrée à un design expérimental de séquence de trois conditions (ligne de base, placebo, vrai neurofeedback, placebo, vrai neurofeedback) utilisées auprès d'un groupe d'enfants présentant un TDAH.

Le choix de ce type de placebo dont le renforcement en condition « faux » entraînement est contingent à l'activité cérébrale d'ondes spécifiques est discutable. Il est possible qu'un tel entraînement ait un effet « thérapeutique », si minime soit-il, sur les participants qui soit attribuable au neurofeedback, atténuant ainsi la différence entre les conditions neurofeedback et « faux » traitement.

*EEG préenregistré.*

D'autres chercheurs ont eu recours à l'EEG préenregistré d'une tierce personne comme condition placebo (Perreau-Linck, Lessard, Lévesque, & Beauregard, 2010). Ainsi, l'EEG d'une des chercheuses a été présenté aux participants de la condition placebo, sans préciser, toutefois, si les participants en condition placebo se voyaient tous présenter les mêmes écrans dans le même ordre. Cette condition placebo construite à partir de l'EEG d'une seule personne ne pourrait être utilisée dans le cadre d'une étude à double insu, les entraîneurs se rendant compte rapidement que plusieurs participants reçoivent des renforcements identiques. De plus, un décollement d'électrode ou des contractions musculaires du participant ne se reflètent pas dans l'EEG pré-enregistré, ce qui peut briser le double insu. Par ailleurs, les participants à cette étude ont été attribués aléatoirement à deux groupes seulement, soit un groupe placebo, soit un groupe recevant le vrai neurofeedback. Il importe de mentionner que l'absence d'un groupe en attente ne permet pas de conclure quant à la nature des améliorations possibles qui pourraient être présentées par les participants du groupe placebo (effet placebo ou autre effet tel un simple effet test-retest).



*Protocole de renforcements indépendant de l'EEG.*

deBeus et Kaiser (2010) ont publié les résultats d'une étude de groupes avec traitements croisés, à double insu avec condition placebo. Les participants ont tous été soumis aux deux conditions de recherche (neurofeedback et placebo). Le feedback était intégré à un jeu vidéo de voiture de course sur console Playstation. En condition de neurofeedback, l'activité cérébrale modifiait en temps réel les paramètres du jeu vidéo (la vitesse maximale de la voiture de course était inversement associée au ratio des amplitudes des ondes Thêta (4-8 Hz) et Alpha (8-12 Hz) sur Bêta (12-20) Hz; le contrôle de la direction était associé à l'amplitude de l'activité RSM (12-15 Hz)). En condition placebo, les mêmes paramètres de jeu (vitesse de la voiture; vibration de la manette de jeu; contrôle de la direction de la voiture) étaient modifiés dans une séquence prédéterminée (modification d'un des paramètres pour une durée prédéterminée de 1 à 5 secondes) une fois par minute par un technicien qui n'avait aucun contact avec l'enfant et qui ne pouvait le voir, imitant la performance d'un enfant recevant le vrai traitement. Lors de cette condition placebo, l'électrode EEG permettait l'enregistrement de l'activité cérébrale.

Bien que ce type de placebo paraisse intéressant de par le choix de la modalité d'entraînement, par son côté pratique (ne requiert pas l'enregistrement préalable de l'EEG de tierces personnes) et parce qu'il permet l'enregistrement de l'EEG du participant, le nombre élevé d'abandons (25 %) en cours d'étude nous questionne sur son infaillibilité. Il est effectivement possible que les participants aient pu deviner leur attribution à la condition placebo étant donné la régularité (une fois par minute) de la modification des paramètres. Il est aussi possible que le fait de présenter une étude de type « inversion de traitement » soit plus propice aux abandons, puisque les sujets qui ont déjà bénéficié du vrai traitement sont probablement plus enclins à abandonner lorsqu'ils se retrouvent en condition placebo. Par ailleurs, mentionnons à nouveau que l'absence d'un groupe en attente rend impossible de déterminer la part d'un effet placebo proprement dit. Enfin, la méthode d'entraînement par jeu vidéo normal de deux enfants à la fois (dont un en placebo) utilisée par cette équipe se prête peu au guidage cognitif des participants et pourrait restreindre l'ampleur des effets observés.

Les méthodologies décrites jusqu'à présent n'ont pas réussi à répondre de façon définitive aux questionnements posés par la communauté scientifique quant aux effets spécifiques du neurofeedback, surtout que la plupart d'entre elles n'ont pas documenté un avantage marqué du neurofeedback sur une condition contrôle. Les méthodes décrites présentaient certaines faiblesses qui ont certainement limité la capacité des chercheurs à répondre aux attentes des observateurs critiques du neurofeedback. Il existe donc toujours, dans ce domaine, un réel besoin de présenter un protocole méthodologiquement convaincant qui puisse répondre aux critiques des chercheurs, qui s'applique directement à la population principalement ciblée, soit des jeunes avec un TDAH, qui tienne compte des règles déontologiques actuelles ainsi que des résultats déjà publiés et qui permette de départager efficacement les effets réels du neurofeedback de ceux qui seraient attribuables à d'autres facteurs plus psychologiques qu'électrophysiologiques.

La méthodologie à double insu ayant recours à une condition placebo nous paraît effectivement des plus appropriées dans l'étude des effets spécifiques au neurofeedback chez des enfants présentant un TDAH, surtout si on y adjoint un groupe en simple liste d'attente. Mentionnons que dans l'éventualité où le traitement entraînerait des effets bénéfiques, il serait approprié d'offrir ce traitement à tous les participants des groupes contrôles, une fois l'étude terminée. Nous présenterons dans les sections suivantes divers points qui doivent être considérés dans l'élaboration d'une telle méthodologie.

### *Défis dans l'élaboration d'une condition placebo à double insu*

#### *Considérations techniques dans l'élaboration d'une condition placebo convaincante*

Tout d'abord, pour assurer le double insu, il est nécessaire que le placebo soit suffisamment réaliste et similaire au vrai traitement pour qu'à la fois, les entraîneurs, les participants et leurs parents ne puissent connaître ou deviner la condition à laquelle le participant a été assigné autrement que par les effets éventuels du traitement. Les deux conditions doivent être stimulantes et positives afin de maintenir la motivation des participants du début à la fin du projet et ainsi, limiter le nombre d'abandons. Il est également important de ne pas trop simplifier le vrai traitement dans le but de permettre une condition placebo puisque l'absence de résultats significatifs au vrai traitement

obtenu dans de telles conditions ne permettrait pas de conclure à l'inefficacité du neurofeedback, un doute persistant. Les protocoles d'entraînement concernant le nombre et la durée des séances ainsi que le nombre de récompenses (jetons, points, gratifications verbales) doivent, idéalement, être standardisés afin de s'assurer que le traitement offert à tous les participants (condition placebo et vrai traitement) ne diffère pas sur ces points.

Pour démontrer un effet placebo, si cela s'avère, il est nécessaire d'inclure un troisième groupe comparatif sans entraînement (techniquement « en attente ») pour tenir compte, entre autres, des effets tests et retests. Ainsi, si les groupes entraînés (placebo et vrai traitement) présentent des changements sur les post-tests par rapport aux pré-tests, ceux-ci ne pourront être interprétés comme effet placebo que s'ils sont comparés aux résultats d'un groupe n'ayant reçu de traitement que la batterie initiale de tests.

La méthodologie choisie doit aussi permettre l'enregistrement de l'EEG sous la condition placebo pour assurer le double insu. En effet, puisque les contractions musculaires peuvent entraîner des artéfacts ou induire un faux signal EEG, l'absence de cette information dans le déroulement des séances pourrait faire en sorte que le sujet ou son entraîneur puisse deviner à quelle condition il a été attribué. Le protocole placebo proposé sous-entend donc que le participant sous cette condition se voit présenter les rétroactions d'un autre sujet en ce qui concerne les bandes EEG sélectionnées (RSM et Thêta) mais qu'il bénéficie d'une réelle rétroaction en ce qui concerne le signal électromyographique (EMG). En enregistrant l'EEG du sujet qui se trouve en condition placebo, il est alors possible d'extraire le signal associé à l'activité musculaire (52-58 Hz) au niveau de la tête et, comme pour le vrai neurofeedback, y associer une rétroaction qui limite cette activité (seuil entre 5 et 10  $\mu\text{V}$ , selon le sujet). On considère ici que la réduction d'activité musculaire sur la tête n'est pas un effet EEG proprement dit et appartient donc à la catégorie large d'autres effets non-spécifiques au neurofeedback. L'enregistrement de l'EEG des participants en condition placebo offre également la possibilité de comparer les EEG des participants des deux conditions, soit lors du vrai traitement ou du placebo. Tout ceci n'exclut toutefois pas que les effets bénéfiques du vrai traitement trahissent éventuellement le double insu.

### *Déclaration de Helsinki*

Lors de l'élaboration d'un projet de recherche à double insu avec condition placebo, on doit s'assurer de respecter les règles établies par la Déclaration de Helsinki (Association médicale mondiale: AMM, 2008) qui dictent les principes éthiques concernant la recherche avec participants humains. Cette déclaration stipule que « les intérêts de la science [...] ne doivent jamais prévaloir sur le bien-être du sujet ». Plus spécifiquement, concernant le recours à un placebo, la Déclaration indique entre autres que « [...] les essais avec témoins sous placebo ne doivent être utilisés qu'avec de grandes précautions [...] et peuvent être éthiquement acceptables dans les conditions suivantes:

- lorsqu'une méthode prophylactique, diagnostique ou thérapeutique est mise à l'essai pour une affection bénigne et que la participation à l'essai n'expose pas à des risques supplémentaires de dommages significatifs ou durables. » (AMM, 2008).

Afin de mieux comprendre les circonstances où l'utilisation d'un placebo est acceptable, Freedman (1990) et Weijer (1999) en ont identifié sept circonstances dont une, qui nous intéresse plus particulièrement, nous informe qu'un traitement alternatif peut être ajouté à un traitement standard pourvu que tous les sujets aient accès au traitement standard (Weijer, 1999). Cela signifie, par exemple, qu'un traitement de neurofeedback, vrai ou placebo, peut être ajouté sans problème au traitement pharmacologique standard, mais que d'imposer un arrêt de la médication pour participer à ce type d'étude serait problématique.

### *Élaboration de la condition placebo avec double insu*

Nous souhaitons proposer un protocole de recherche à double insu avec condition placebo qui tienne compte des méthodologies utilisées antérieurement, de leurs limitations ainsi que des diverses considérations présentées dans la dernière section.

### *Principes généraux*

Le protocole de recherche proposé se veut à double insu où à la fois les chercheurs, parents et participants, bien qu’au courant des diverses conditions possibles et des questions de recherche (respect de la Déclaration de Helsinki), ne peuvent d’aucune façon, sauf par d’éventuels effets bénéfiques, connaître l’attribution (groupe placebo vs vrai traitement), celle-ci étant faite au hasard et gérée par un observateur externe au projet. De plus, la méthode doit permettre que les psychotechniciens (responsables des séances de tests pré et post) et entraîneurs (responsables des entraînements) ne soupçonnent même pas l’existence de la condition placebo, prenant pour acquis que tous les enfants entraînés sont soumis à un vrai traitement de neurofeedback. Le fait de ne pas informer ces personnes d’une condition placebo ne contrevient pas aux règles éthiques et rend la condition placebo d’autant plus crédible.

Nous proposons aussi que tous les sujets bénéficient d’une médication psychostimulante tout au long de la durée des entraînements. Ceci permet d’inclure plus de sujets et d’unifier les effets de cette condition. De plus, malgré le placebo, un traitement standard reconnu efficace est donné à tous et prévient les inconvénients associés à l’absence de traitement chez ces sujets. Une étude pourrait toutefois inclure des enfants dont les parents refusent la médication, pourvu que leur attribution à un des groupes respecte la règle du hasard et qu’ils ne soient pas pénalisés s’ils devaient éventuellement prendre une médication psychostimulante. Par ailleurs, le protocole proposé permet l’enregistrement de l’EEG de tous les participants assignés au groupe placebo.

Mentionnons que le protocole que nous présentons a été élaboré et utilisé avec des encodeurs P2 et le logiciel Infiniti (version 3.1.5) de la compagnie Thought Technologies. Les étapes de réalisation du protocole placebo ont donc été élaborées selon les spécificités de ces équipements. Toutefois, les principes de création de la condition placebo devraient pouvoir être facilement adaptés pour d’autres systèmes de neurofeedback.

### *Déroulement d'une séance typique de neurofeedback*

Avant de présenter le fonctionnement du placebo proposé, il est nécessaire de comprendre le déroulement d'une séance typique de neurofeedback. Dans un premier temps, le sujet et ses parents sont accueillis par un neurothérapeute avec qui une relation thérapeutique est généralement établie. Des électrodes sont installées de sorte que l'impédance soit inférieure à 5 k $\Omega$ , s'assurant ainsi de la qualité du signal enregistré. Les sites où sont installées les électrodes dépendent du type d'entraînement. Par exemple, lors d'une intervention qui se fait auprès d'un enfant présentant un TDAH, un entraînement de type Thêta-RSM est souvent choisi. Dans ce cas-là, on installerait probablement une électrode active à C4 (sur la ligne centrale, légèrement vers la droite, selon le système 10-20) et la référence ainsi que la mise à la terre sur les oreilles. Une ligne de base est ensuite enregistrée pour une durée de deux minutes pendant laquelle le sujet fixe l'écran et doit demeurer calme. D'après l'activité EEG enregistrée, le logiciel utilisé pour traiter les données EEG calcule des seuils pour les bandes de fréquences sélectionnées par le neurothérapeute. Ces seuils sont, pour chaque bande, calculés à partir d'un certain pourcentage de temps passé au-dessus ou en dessous de cette amplitude-seuil lors de la ligne de base. Les seuils sont ainsi déterminés au début de chaque séance de chaque enfant. L'entraînement commence ensuite. Des animations, de la musique et des points sont présentés à l'enfant par le biais de l'ordinateur et agissent comme rétroaction. Cette rétroaction informe le neurothérapeute et le participant à savoir si l'EEG de ce dernier est ou non dans l'état attendu. En effet, ces stimulations rétroactives sont toutes modulées par les paramètres prédéterminés de l'activité EEG du participant. Par exemple, dans le cas d'un entraînement Thêta-RSM, les animations vidéo, la musique et l'acquisition de points ne sont activées que si l'amplitude des ondes Thêta est sous son seuil et, simultanément, celle des ondes RSM au-dessus du seuil déterminé, pour une durée minimale. Toutefois, lorsque l'activité musculaire (extrapolée d'après l'activité des ondes 52-58 Hz à l'EEG) est supérieure à un seuil entre 5 et 10  $\mu$ V (déterminé selon le participant et ajusté à chaque séance), toutes les rétroactions sont arrêtées tant que l'amplitude de cette activité n'est pas à nouveau inférieure à ce seuil. Les séances d'entraînement sont typiquement segmentées en plusieurs essais de durées prédéterminées.

### *Étapes de l'élaboration de la condition placebo*

Mentionnons d'abord que dans le cadre d'une recherche avec condition placebo, les enfants en condition placebo doivent se voir présenter exactement les mêmes modalités que ceux recevant le vrai traitement. Ainsi, le nombre d'essais, leur durée ainsi que le choix des renforcements sont préférablement fixés et identiques pour tous les participants.

En ce qui concerne l'élaboration de la condition placebo, il faut s'assurer, dans un premier temps, de posséder des enregistrements EEG de participants consentants, obtenus dans des conditions identiques à celles de l'étude avec condition placebo (nombre et durée des essais, types de rétroactions, paramètres EEG sélectionnés pour les rétroactions). Si de tels enregistrements EEG ne sont pas disponibles, des enregistrements devront être préalablement faits avec un nombre de sujets qui correspond au nombre maximum d'enfants qu'un même entraîneur peut avoir en condition placebo, afin que chaque enfant ait son histoire d'entraînement propre, aux yeux d'un entraîneur qui s'occupe de plus d'un participant. Nous proposons que les écrans choisis lors des enregistrements présentent un stimulus sonore sous forme de musique, une animation vidéo et une accumulation de points qui assurent les rétroactions par rapport aux paramètres EEG à renforcer et/ou inhiber. Un outil doit aussi être présenté à l'écran concernant l'activité musculaire du sujet enregistrée au site de l'électrode active.

Lorsque ces enregistrements EEG sont disponibles, il faut appairer chaque participant du groupe placebo à un participant dont l'EEG a préalablement été enregistré.

Le logiciel Infiniti permet de visualiser de diverses façons, un EEG préalablement enregistré. On peut ainsi rejouer l'EEG dans un écran identique à celui utilisé lors de l'enregistrement. Les séances des participants initiaux sont ainsi rejouées, avec les mêmes seuils qu'utilisés lors de l'enregistrement pour reproduire tout ce que ce sujet original avait vu sur son écran durant sa propre séance d'entraînement. Seul le seuil concernant l'activité musculaire doit être ignoré (en le fixant à une valeur extrêmement permissive) pour que les rétroactions sonores et visuelles ne s'arrêtent pas de façon inattendue. Le son et une bonne partie de l'image (en omettant l'outil de rétroaction EMG de ce participant initial) de cette relecture sont alors captés et sauvegardés séparément à l'aide d'un logiciel tel que Camtasia de la compagnie TechSmith. On obtient ainsi un

fichier vidéo et un fichier audio pour chaque séance d'entraînement. Les fichiers doivent ensuite être segmentés en plusieurs vidéos et bandes sonores correspondant aux essais (dont la longueur peut varier en fonction de la durée des essais) d'une séance. Ces fichiers image et son servent alors techniquement de stimuli de feedback qui ne sont arrêtés que par une activité musculaire excessive. Pour s'assurer que les entraîneurs ne puissent deviner l'attribution des participants d'après le nom des fichiers vidéo et audio, il faut s'assurer de leur donner un nom neutre.

À l'aide du programme Screen Editor du logiciel Developer Tools de Thought Technology, des écrans sont bâtis en y incorporant les vidéos (captures d'écran avec la feedback de l'EEG préenregistré) et bandes sonores associées. Ainsi, les rétroactions visuelles et sonores données aux participants de la condition placebo ne sont en fait que celles de sujets antérieurs. Ces images préenregistrées ne doivent pas occuper tout l'écran. Tel que spécifié plus haut, un instrument traitant l'EEG en temps réel doit être inclus dans chaque écran (à l'extérieur de la zone de vidéo préenregistrée) pour permettre une rétroaction véritable de l'activité musculaire captée par l'électrode active des participants de la condition placebo. Ceci permet de s'assurer que si le participant bouge ou contracte ses muscles, que la présentation à l'écran ainsi que le son figent, comme c'est le cas pour les participants recevant le vrai traitement. Puisque les vidéos et bandes sonores correspondantes sont différentes pour chaque essai et chaque sujet, des écrans doivent être construits individuellement pour chaque essai de chaque séance de chaque sujet de la condition placebo d'un même entraîneur.

Une fois tous les écrans des entraînements de la condition placebo construits, ils sont intégrés à des scénarios d'entraînement pour uniformiser leur présentation, à l'aide du programme Script Editor du logiciel Developer Tools de Thought Technology. De cette façon, tous les sujets se voient présenter les écrans selon une séquence et pour des durées prédéterminées. Ceci implique que chaque scénario soit constitué d'un certain nombre d'écrans correspondant à des fichiers distincts. Mentionnons que des scénarios sont aussi montés pour tous les sujets recevant le vrai traitement. Les scénarios, tout comme les écrans qui les constituent, sont présentés lors de l'enregistrement de l'EEG par le biais du logiciel Infiniti. Toutefois, puisque par défaut, ce logiciel affiche un titre dans la barre supérieure du logiciel qui correspond au nom de l'écran utilisé pendant



l'enregistrement et que chaque écran a son propre nom de fichier, les titres diffèrent d'un essai à l'autre et d'un sujet à l'autre. Il est donc important de tenir compte de ceci dans le choix du nom de fichier des écrans pour ne pas compromettre le double insu. De même, toujours pour préserver le double insu, nous devons nous assurer que les titres présentés au cours de chaque essai varient aussi pour les participants recevant le vrai traitement. Des fichiers correspondants aux écrans de chaque essai pour chaque sujet recevant le vrai traitement doivent donc être faits. Dans ce cas, il suffit de faire de multiples copies de l'écran d'enregistrement initial auxquelles des noms distincts sont attribués.

Afin de s'assurer que les chercheurs ne connaissent pas l'attribution des participants, une personne externe au projet (possiblement la personne déjà responsable de l'attribution des participants) doit changer le nom de tous les fichiers d'écrans, d'essais et de scénarios pour enregistrer ces fichiers sous le nom de chaque sujet, par exemple. Il sera ainsi impossible, sur la base du nom des fichiers, des rétroactions présentées, de l'impact du signal EMG sur la rétroaction, de l'installation du matériel et du déroulement général des séances de départager les participants recevant le vrai du faux traitement ou même pour les entraîneurs ayant peu d'expérience en neurofeedback de soupçonner une condition placebo chez ces participants.

#### *Réalisme et limites du protocole proposé*

Le protocole placebo proposé a été utilisé dans le cadre d'une recherche doctorale dont ce document est l'appendice B.

Dans le cadre de ce projet de recherche, certains parents des enfants ayant bénéficié du faux traitement, comme ceux d'enfants ayant reçu le vrai, ont fait part aux entraîneurs de changements positifs au niveau du comportement de leur enfant, du moins, dans la première moitié du projet (premières 20 séances). Ainsi, peu importe le groupe d'attribution, les parents ont initialement fait part d'améliorations comportementales. Toutefois, à la fin du projet, la plupart des parents des enfants en condition placebo ne rapportaient plus d'amélioration et pouvaient ainsi correctement identifier le groupe expérimental auquel leur enfant avait été attribué, tout comme ceux ayant reçu le vrai traitement (ceux-ci se basant sur les améliorations comportementales qu'ils ont observées chez leur enfant). De plus, une fois informés de la présence d'un placebo, les trois

entraîneurs naïfs à cette condition de recherche pouvaient, sur la base des améliorations comportementales en cours de séances, correctement identifier le groupe d'attribution de tous les participants. Aucune indication n'a toutefois été obtenue qui permettrait d'attribuer cela à des caractéristiques techniques plutôt qu'à la présence ou l'absence de bienfaits émanant du traitement.

Nous devons toutefois mentionner que l'auteure, responsable de la réalisation des écrans placebo et neurothérapeute plus expérimentée que les autres chercheurs et psychotechniciens, pouvait d'après la qualité graphique des vidéos ou l'attitude corporelle des jeunes en association avec le signal de feedback, deviner le groupe expérimental de chaque participant en cours d'entraînement. L'auteure a donc dû se retirer des laboratoires de recherche pour la durée des entraînements afin de ne pas compromettre le double insu. La vidéo originale servant de feedback visuel avait une résolution plus fine que celle provenant de la saisie d'écran par Camtasia. Nous supposons que l'utilisation d'une carte graphique de meilleure qualité, ou une version de Camtasia qui garderait la pleine résolution de l'écran saisi, préviendraient cette situation.

Par ailleurs, un des dix participants de la condition placebo s'est plaint d'être dans le groupe placebo. Toutefois, il croyait y être étant donné un message d'erreur qui n'était pas lié au protocole placebo. Il a malgré tout, poursuivi les entraînements jusqu'à la fin. D'ailleurs, nous ne rapportons aucun abandon au cours de l'étude pour laquelle le protocole placebo décrit a été utilisé.

Mentionnons que l'élaboration de tous les fichiers nécessaires à la condition placebo s'avère très coûteuse en termes de temps de préparation. De plus, les fichiers vidéo nécessaires occupent beaucoup d'espace mémoire, ce qui doit être considéré dans le choix de l'ordinateur avec lequel se font les entraînements. Toutefois, si on tient compte de toutes les recommandations techniques proposées ici pour protéger le double insu, les entraîneurs et participants n'auront aucun moyen d'identifier l'attribution autrement que par les effets ou l'absence d'effets du traitement. Il faut cependant faire en sorte que les programmes « Éditeurs » d'écrans et de scénarios ne soient pas installés sur les ordinateurs d'entraînement (seule façon d'associer le nom d'un écran à une vidéo), au cas où une personne avertie, curieuse et déterminée souhaiterait briser le double insu !

### *Conclusion*

Nous croyons que le protocole placebo proposé ici répond aux attentes fixées par la communauté scientifique. Tout en respectant les règles de la Déclaration de Helsinki, ce projet répond aux plus hauts standards scientifiques d'après les critères de Chambless et Hollon, 1998 (condition placebo et double insu). Il permet également l'enregistrement de l'EEG des participants de la condition placebo et, d'un point de vue technique, assure le double insu jusqu'à la fin des entraînements. Le placebo est aussi suffisamment convaincant pour maintenir la motivation des participants et s'assurer de leur coopération jusqu'à la fin du projet. Grâce à ce protocole, il a été possible de départager entre les effets réels du neurofeedback et ceux qui sont attribuables à d'autres facteurs, recherche dont les résultats sont présentés dans la thèse doctorale pour laquelle ce document est un appendice.

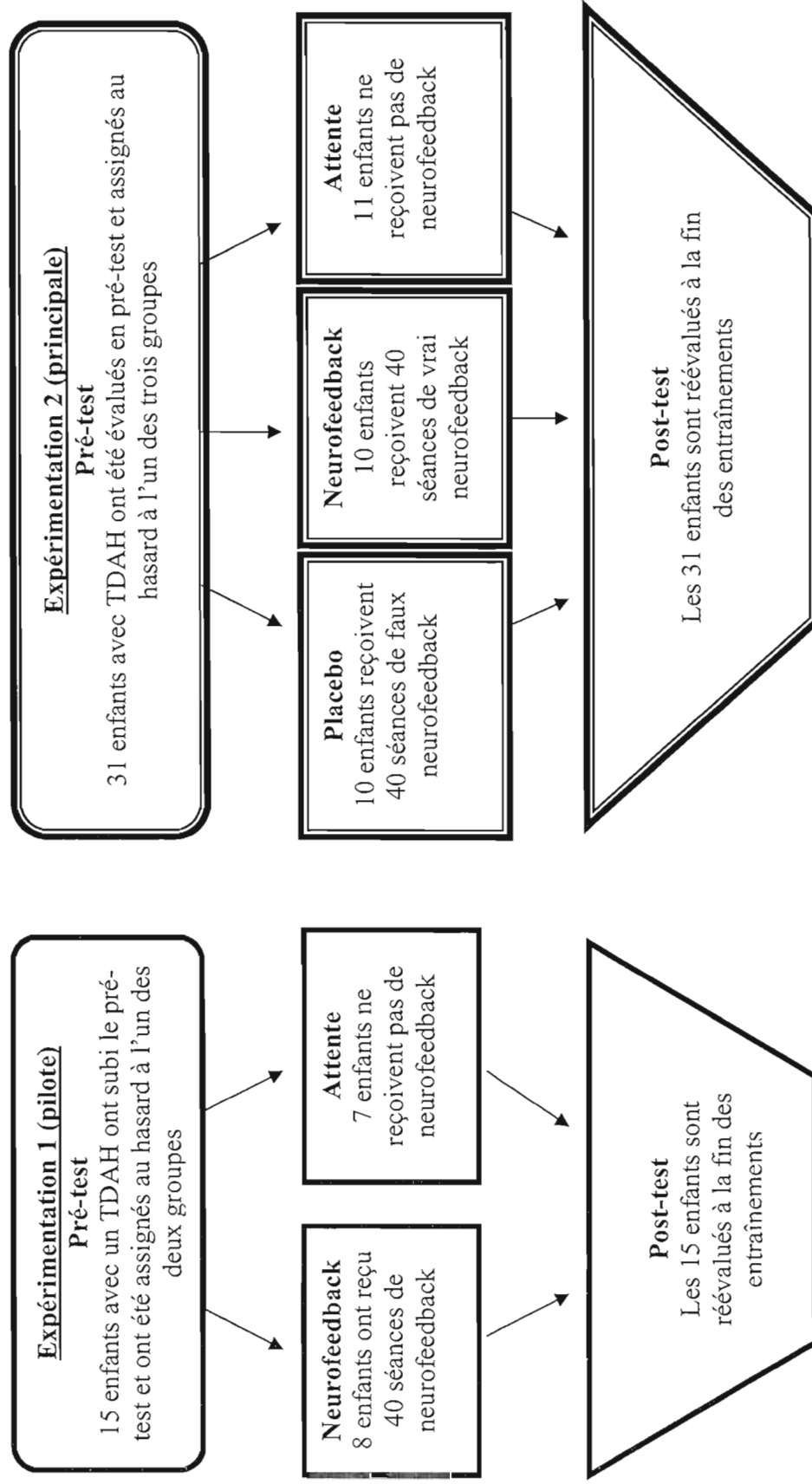
## BIBLIOGRAPHIE

- Association médicale mondiale. (2008). *Déclaration d'Helsinki de l'association médicale mondiale: Principes éthiques applicables aux recherches médicales sur des sujets humains*.
- Baydala, L., & Wikman, E. (2001). The efficacy of neurofeedback in the management of children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Paediatric child health*, 6, 451-455.
- Chambless, D. L., & Hollon, S. D. (1998). Defining empirically supported therapies. *Journal of consulting and clinical psychology*, 66, 7-18.
- deBeus, R., & Kaiser, D. A. (2010). Neurofeedback with children with attention deficit hyperactivity disorder: A randomized double-blind placebo-controlled study. In R. Cohen & J. Evans (Eds), *Neurofeedback and neuromodulation techniques and applications* (pp. 127-152). Londres: Academic press.
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2004). EEG biofeedback of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115, 131-139.
- Freedman, B. (1990). Placebo-controlled trials and the logic of clinical purpose. *IRB: Ethics and human research*, 12, 1-6.
- Gruzelier, G., Egner, T., & Vernon, D. (2006). Validating the efficacy of neurofeedback for optimising performance. *Progress in brain research*, 159, 421-431.
- Heywood, C., & Beale, I. (2003). EEG biofeedback vs. placebo treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder: A pilot study. *Journal of attention disorders*, 7, 43-55.
- Hill, A., Barnea, A., Herzberg, K., Rassis-Ariel, A., Rotem, S., Meltzer, Li, Y. H., & Zaidel, E. (2009). Measuring and modulating hemispheric attention (pp. 125-143). Dans F. Aboitiz & D. Cosmelli (Eds), *From attention to goal-directed behavior*. Berlin: Springer.
- Loo, S. K., & Barkley, R. A. (2005). Clinical utility in attention deficit hyperactivity disorder. *Applied neuropsychology*, 12, 64-76.
- Perreau-Linck, E., Lessard, N., Lévesque, J., & Beauregard, M. (2010). Effects of neurofeedback training on inhibitory capacities in ADHD children: A single-blind, randomized, placebo-controlled study. *Journal of neurotherapy*, 14, 229-242.

- Ramirez, P. M., Desantis, D., & Opler, L. A. (2001). EEG biofeedback treatment of ADD: A viable alternative to traditional medical intervention?. *Annals New York academy of sciences*, 931, 342-358.
- Shouse, M. N., & Lubar, J. F. (1979). Sensorimotor rhythm (SMR) operant conditioning and methylphenidate in the treatment of hyperkinesis. *Biofeedback and self regulation*, 4, 299-311.
- Weijer, C. (1999). Placebo-controlled trials in schizophrenia: are they ethical? Are they necessary?. *Schizophrenia research*, 35, 211-218.

APPENDICE C

SCHEMA EXPERIMENTAL



## APPENDICE D

### DESCRIPTION DES PARTICIPANTS

Tableau D1

*Participants à l'expérimentation 1*

Groupe	Sexe	Âge	Quotient intellectuel (WISC-IV)	Médication (mg/jour)	Poids (livres)
Attente					
	Fille	10ans 2mois	75	36	112
	Garçon	9ans 3mois	89	36	58
		9ans 1mois	104	15	62
		8ans 11mois	98	36	62
		13ans 10mois	128	36	132
		8ans 11mois	110	10	55
		9ans 6mois	97	18	62
Traitement					
	Fille	11ans 2mois	85	54	80
	Garçon	9ans 10mois	95	36	86
		11ans 5mois	86	36	85
		12ans 1mois	84	45	81
		11ans 1mois	91	15	70
		8ans 9mois	82	36	59
		8ans 6mois	88	27	62
		8ans 11mois	117	10	62

\*Tous les participants de l'expérimentation 1 ont un diagnostic de TDAH-mixte

\*\*Le QI utilisé a été obtenu lors de l'évaluation en pré-test alors que l'enfant n'était pas sous l'effet de la médication psychostimulante.

Tableau D2

*Participants à l'expérimentation 2*

Groupe			Quotient intellectuel (WISC-IV)		
	Sexe	Âge		Médication (mg/jour)	Poids (livres)
Attente					
	Fille	9ans 4mois	114	15	73
		9ans 10mois	99	10	80
	Garçon	8ans 6mois	118	18	40
		8ans 8mois	86	36	44
		8ans 0mois	95	20	70
		8ans 9mois	105	36	70
		8ans 8mois	88	30	53
		8ans 6mois	84	20	70
		7ans 5mois	100	15	50
		10ans 4mois	107	20	88
		12ans 0mois	83	36	82
Placebo					
	Fille	12ans 4mois	110	36	85
		11ans 1mois	81	20	60
	Garçon	10ans 1mois	142	30	70
		10ans 1mois	86	36	72
		8ans 0mois	71	25	58
		8ans 4mois	115	20	50
		8ans 0mois	85	18	58
		9ans 1mois	124	27	57
		12ans 0mois	86	25	110
		9ans 4mois	88	25	66
Traitement					
	Fille	8ans 8mois	120	27	55
		8ans 5mois	98	20	60
	Garçon	8ans 2mois	100	18	65
		7ans 11mois	99	36	64
		8ans 3mois	101	36	49
		7ans 9mois	94	12.5	90
		7ans 5mois	103	15	46
		8ans 6mois	78	20	51
		10ans 8mois	101	15	80
		10ans 7mois	79	27	80

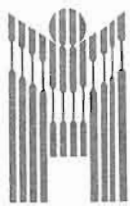
\*Tous les participants de la deuxième expérimentation ont un diagnostic de TDAH-mixte sauf un garçon du groupe placebo qui a un diagnostic d'hyperactivité-impulsivité.

\*\*Le QI utilisé a été obtenu lors de l'évaluation en pré-test alors que l'enfant n'était pas sous l'effet de la médication psychostimulante.



APPENDICE E  
FORMULAIRES DE CONSENTEMENT ET QUESTIONNAIRES  
COMPORTEMENTAUX

Lettre d'information, phase 1	118
Formulaire de consentement, phase 1	122
Lettre d'information, phase 2	127
Formulaire de consentement, phase 2	131
SDQ-parent	136
SDQ-enseignant	138
CBCL-parent	140
CBCL-enseignant	144
DuPaul-parent	148
DuPaul-enseignant	149



# Hôpital Rivière-des-Prairies

Centre hospitalier de soins psychiatriques



## **Projet de recherche sur l'utilité de la neurothérapie pour améliorer le niveau fonctionnel chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention, phase 1** **Lettre d'information**

Chers parents,

Dans le cadre des recherches effectuées par le Groupe interdisciplinaire de recherche sur l'amélioration de la concentration (GIRAC), un projet de recherche s'intitulant « L'utilité de la neurothérapie pour améliorer le niveau fonctionnel chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention » débutera en février 2005 à la Clinique des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies. Ce projet vise à démontrer l'utilité du neurofeedback pour l'amélioration d'un fonctionnement de l'enfant dans ses activités quotidiennes, son comportement et sa performance scolaire.

### **1. Recrutement**

Nous recrutons présentement des enfants âgés entre 8 et 12 ans ayant été vu à la Clinique des troubles de l'attention, ayant reçu un diagnostic de trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA\H) et étant sous traitement pharmacologique (psychostimulants tel que le Ritalin ou Concerta).

**Critères d'inclusion :** Les enfants devront tous être issus d'une grossesse normale. S'ils présentent des co-morbidités au TDA\H, ils seront évalués au cas par cas. Il est important de préciser que le diagnostic principal doit être un TDA\H. Les enfants présentant une co-morbidité au TDA\H d'anxiété, de troubles de comportement ou de retard du langage seront considérés.

**Critères d'exclusion :** Les enfants ne devront présenter d'antécédent neurologique. Ils ne devront jamais avoir été dans le coma ou avoir perdu conscience plus de 20 minutes. Les enfants présentant un TDA\H ainsi qu'une co-morbidité d'un syndrome Gilles de la Tourette, troubles de l'humeur, troubles psychotiques, troubles de la personnalité, troubles envahissant du développement, troubles d'apprentissage graves, troubles neurodéveloppementaux, troubles épileptiques, une déficience intellectuelle ou troubles de l'alimentation seront automatiquement exclus. En cours de recherche, un enfant pourrait être exclu s'il présente une réaction à la pâte abrasive NuPrep utilisée pour préparer la peau précédant la pose des électrodes ; s'il a recours à un programme de thérapie cognitive autre que celui proposé par le projet ; si des séances d'entraînement sont manquées sans préavis ou trop souvent annulées ; et si la coopération de l'enfant est jugée insuffisante.

### **2. Description du projet**

Dans le cadre de ce projet, votre enfant sera assigné au hasard à l'un des deux groupes possibles. Les participants assignés au groupe 1 recevront le programme de neurothérapie

(aussi appelée neurofeedback). L'entraînement sera de 40 séances. Ces séances d'entraînement se dérouleront à la Clinique des Troubles de l'Attention (CTA) de l'Hôpital Rivière des Prairies les soirs de semaine et les samedis et elles seront supervisées par des étudiantes au doctorat en psychologie. Durant ces séances d'entraînement, votre enfant sera entraîné à développer un contrôle sur l'activité électrique de son cerveau dans le but de normaliser cette activité et favoriser un état attentif. De plus, afin d'encourager les enfants à fournir un effort mental soutenu, un système de renforcement positif sera introduit. Le rythme des rencontres est de trois rencontres de 60 minutes chacune par semaine, pendant treize semaines.

Les enfants assignés au groupe 2 devront attendre près d'un an avant de pouvoir profiter du programme de neurothérapie. Cette option est conditionnelle au fait que les résultats de recherche démontrent un effet bénéfique réel du traitement et que votre enfant n'est pas bénéficié de d'autres types d'entraînements cognitifs entre temps. Donc, dans la mesure où les bénéfices du traitement ne seraient pas confirmés, ce traitement ne serait pas offert à votre enfant.

### **3. Implication de la part des parents**

La participation au projet de recherche implique de votre part et de la part de votre enfant les points suivants :

- Administration d'une série de tests neuropsychologiques et d'un électroencéphalogramme à l'enfant. Cette évaluation se fera en deux parties d'environ deux heures chacune. L'évaluation sera répétée à trois moments durant l'année qui vient soit avant le début des entraînements, à la fin des entraînements et un an après la fin des entraînements.
- Les parents devront répondre à des questionnaires d'information sur l'histoire médicale et développementale de leur enfant, questionnaire sur l'historique de la prise de psychostimulant et donner leur consentement aux chercheurs pour l'accès au dossier médical de la Clinique des troubles de l'attention. Les parents devront fournir une copie du bulletin scolaire de l'enfant et une copie de la prescription des psychostimulants obtenu du Dr Lageix ou du médecin de famille. De plus, aux trois moments de l'évaluation, les parents et enseignant de l'enfant devront répondre à des questionnaires portant sur le comportement de l'enfant.
- Des séances d'entraînements de neurothérapie de 60 minutes se dérouleront trois fois par semaine (soirs de semaine et jours de fin de semaine) à la Clinique des troubles de l'attention. Il y aura 40 séances d'entraînement qui seront échelonnées sur 14 semaines. La neurothérapie est une technique qui permet à l'enfant d'apprendre à modifier l'activité électrique de son cerveau à partir d'un appareil de neurothérapie jumelé à un ordinateur. À l'écran de l'ordinateur, l'enfant voit une image ou un jeu qui s'anime en fonction de son habileté à modifier l'activité électrique de son cerveau favorisant un état attentif et calme. Cette forme d'entraînement se rapproche d'un entraînement sportif : plus l'enfant pratique et répète des exercices de concentration plus il peut se concentrer facilement dans d'autres situations, notamment à l'école ou à la maison. Cet apprentissage se fera graduellement tout au long des 40 rencontres.

- Le projet implique un investissement de temps important de la part des parents et de leur enfant qui est évalué à environ 60 heures en plus des déplacements fréquents.

#### 4. Personnes à contacter concernant le projet

Ce projet sera administré par Geneviève Moreau et Caroline Picard, étudiantes au doctorat en psychologie de l'Université du Québec à Montréal, sous la supervision du Professeur André Achim et avec la collaboration de Mme Marie-Claude Guay et du Dr Philippe Lageix.

Nous apprécions l'intérêt que vous portez à ce projet. Si vous êtes intéressé à ce que votre enfant participe à ce projet ou que vous aillez des commentaires ou des questions, n'hésitez pas à communiquer avec Geneviève Moreau en laissant un message au (514) 323-7260 poste 2214. Nous vous rappellerons dans les plus brefs délais.

Sincèrement,



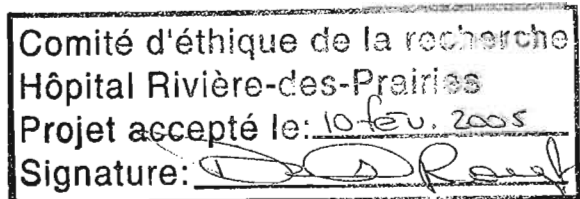
Geneviève Moreau

Candidate au doctorat en psychologie, UQAM



Caroline Picard

Candidate au doctorat en psychologie, UQAM



## Échéancier pour le projet neurofeedback 2005, phase 1

Geneviève Moreau, Caroline Picard, Marie-Claude Guay,

Philippe Lageix et André Achim

### Phase 1

Dates	Responsable	Tâche	Nombre d'enfant
Février 2005	G. Moreau	Recrutement	14
Février-mars 2005	G. Moreau	Évaluation	14
Avril-juillet 2005	G. Moreau	Entraînement	7
Juillet-août 2005	G. Moreau	Ré-évaluation	14
Janvier-avril 2006	G. Moreau	Entraînement liste d'attente phase 1 **	7

\*\* Le nombre d'enfants qui profiteront du programme dépend des résultats : Si les résultats sont positifs, les enfants en liste d'attente seront entraînés. Toutefois, si les résultats de la recherche ne permettent pas distinguer les enfants appartenant au groupe d'attente des enfants du groupe d'entraînement, les enfants de la liste d'attente ne seront pas entraînés.



## **FORMULAIRE DE CONSENTEMENT** **Programme de neurothérapie**

### **1. Titre du projet, chercheurs et affiliations**

L'utilité de la neurothérapie pour améliorer le niveau fonctionnel chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention (phase 1).

Geneviève Moreau : Co-responsable du projet. Candidate au doctorat en psychologie à l'UQAM.

Caroline Picard : Co-responsable du projet. Candidate au doctorat en psychologie à l'UQAM.

Marie-Claude Guay, Ph.D. : Psychologue-chercheure à la Clinique spécialisée des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies.

Philippe Lageix, M.D. : Pédopsychiatre à la Clinique spécialisée des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies.

André Achim, Ph.D. : Professeur-chercheur au département de psychologie à l'UQAM.

### **2. Description du projet**

Ce projet vise à démontrer l'utilité du neurofeedback pour l'amélioration du fonctionnement de l'enfant dans ses activités quotidiennes, son comportement et sa performance scolaire. Le neurofeedback est une technique qui permet à l'enfant d'apprendre à modifier l'activité électrique de son cerveau à partir d'un appareil de neurothérapie jumelé à un ordinateur. À l'écran de l'ordinateur, l'enfant voit une image ou un jeu qui s'anime en fonction de son habileté à modifier l'activité électrique de son cerveau en favorisant un état attentif et calme. Cet entraînement se rapproche d'un entraînement sportif : plus l'enfant pratique et répète des exercices de concentration, plus il peut se concentrer facilement dans d'autres situations, notamment à l'école ou à la maison. Cet apprentissage se fera graduellement tout au long des 40 rencontres.

### **3. Procédure à l'étude**

Dans le cadre de ce projet, votre enfant sera assigné au hasard à l'un des deux groupes possibles. Les participants assignés au groupe 1 recevront le programme de neurothérapie (aussi appelée neurofeedback). L'entraînement sera de 40 séances. Ces séances d'entraînement se dérouleront à la Clinique des Troubles de l'Attention (CTA) de l'Hôpital Rivière des Prairies les soirs de semaine et les samedis et elles seront supervisées par des étudiantes au doctorat en psychologie. Durant ces séances d'entraînement, votre enfant sera entraîné à développer un contrôle sur l'activité électrique de son cerveau dans le but de normaliser cette activité et favoriser un état attentif. De plus, afin d'encourager les enfants à fournir un effort mental soutenu, un système de renforcement positif sera introduit. Le rythme des rencontres est de trois rencontres de 60 minutes chacune par semaine, pendant treize semaines.

Les enfants assignés au groupe 2 devront attendre un an avant de pouvoir profiter du programme de neurothérapie. Cette option est conditionnelle au fait que les résultats de recherche démontrent un effet bénéfique réel du traitement et que votre enfant n'est pas bénéficié de d'autres types



d'entraînements cognitifs entre temps. Donc, dans la mesure où les bénéfices du traitement ne seraient pas confirmés, ce traitement ne serait pas offert à votre enfant.

Les sessions d'entraînement impliquent la pose de trois électrodes, deux sur les oreilles et une sur la tête. Concernant la pose des électrodes pour les entraînements :

L'enregistrement de l'activité électrique du cerveau se fait par des électrodes maintenues sur la tête à l'aide d'une pâte conductrice spécialement conçue à cet effet (marque 10-20). Avant de poser les électrodes, on prépare la peau aux endroits où vont les électrodes, à l'aide d'une pâte abrasive (marque Nu-Prep) conçue à cet effet. Chez les personnes dont la peau est particulièrement sensible, l'utilisation de cette pâte abrasive peut causer une irritation passagère de la peau. La réaction de la peau sera donc vérifiée en appliquant la pâte sur le poignet. S'il y a réaction cutanée, l'enfant sera exclu de la recherche.

La participation de votre enfant à ce projet implique également quatre autres rencontres d'évaluation à la Clinique des troubles de l'attention de votre enfant avec un psychotechnicien à deux moments au courant de l'année 2005-2006 (voir échéancier) pour mesurer les effets du programme de neurothérapie sur les fonctions attentionnelles et sur les comportements. La durée de chacune des évaluations est d'environ deux heures. À ces deux moments d'évaluation, un enregistrement vidéo de votre enfant sera fait durant une partie de la période d'évaluation afin de documenter les comportements d'inattention. De plus, à ces deux moments d'évaluation, afin d'évaluer les changements comportementaux de votre enfant en milieu familial, il vous sera demandé de compléter des questionnaires mesurant ses comportements à la maison et son enseignant complètera ces mêmes questionnaires afin d'évaluer ses comportements à l'école.

#### **4. Exclusion du participant de l'étude**

Le participant pourrait être exclu de l'étude s'il répond à l'un des critères suivants :

- Réaction à la pâte abrasive NuPrep utilisée pour préparer la peau à la pose des électrodes.
- Recours à un programme de thérapie cognitive autre que celui proposé par le projet.
- Des séances d'entraînement manquées sans préavis ou trop souvent annulées.
- La coopération de l'enfant est jugée insuffisante.

#### **5. Concernant les participants n'ayant pas été référés par l'Hôpital Rivière-des-Prairies**

Les participants qui n'ont pas été référés par la Clinique des troubles de l'attention devront passer une évaluation supplémentaire d'environ 90 minutes dont les résultats serviront à déterminer si le profil attentionnel de l'enfant correspond à un trouble déficitaire de l'attention tel que déterminé par les intervenants de la Clinique. Il n'y aura pas d'ouverture de dossiers à la Clinique et aucun rapport d'évaluation ne sera rédigé suite à cette évaluation. L'enfant doit avoir un suivi médical à l'extérieur de l'Hôpital Rivière-des-Prairies et être capable d'en fournir la preuve.

#### **6. Avantages et bénéfices pour le participant**

La contribution de votre enfant à cette recherche est une contribution à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'intervention auprès d'enfants présentant un TDAH.

En participant à ce projet, votre enfant se verra offrir quatre certificats-cadeaux de 10\$ de son choix d'une valeur totale de 40\$. Ces certificats seront remis à chaque 10 rencontres.

En plus de l'entraînement de neurofeedback, des techniques de relaxation, de respiration et une posture adéquate seront enseignées à l'enfant entraîné.

## **7. Inconvénients et risques**

Il n'y a aucun inconvénient personnel direct pouvant découler de cette étude, d'autant plus que le caractère confidentiel des données est assuré.

Cependant, la participation à l'étude nécessite un investissement de temps de la part des parents et des enfants qui est évalué à environ 60 heures en plus des déplacements fréquents.

La participation au projet exige que l'enfant n'ait pas recours à un autre type de thérapie cognitive pour la durée du projet afin de ne pas biaiser les résultats de la recherche.

## **8. Modalités prévues en matière de confidentialité**

Le consentement implique que les responsables de la recherche auront accès aux dossiers médical (médecin de famille et CTA), psychologique et scolaire de l'enfant pour la durée de la recherche.

Aucune donnée nominative n'apparaît dans les dossiers de recherche. Les dossiers ainsi que tous les protocoles de tests sont codés et conservés sous clé à la Clinique des troubles de l'attention. Seuls les chercheurs ont accès à la correspondance entre les codes et les données nominatives. De plus, seuls les chercheurs ont accès aux dossiers et aux protocoles de tests. Les résultats de la recherche seront conservés cinq ans après leur publication et seront ensuite détruits. Il est entendu que les renseignements contenus dans les dossiers de recherche de l'enfant pourront être décrits de façon anonyme dans des publications scientifiques, mais qu'en aucun cas des informations personnelles ne pourront être divulguées d'une façon telle que l'on puisse l'identifier.

## **9. Liberté de participation et de retrait**

Votre participation à cette étude est tout à fait volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser d'y participer sans que votre refus ne nuise aux relations avec les autres professionnels impliqués dans les services offerts à votre enfant. Toute nouvelle connaissance acquise au cours de cette étude qui pourrait affecter votre décision d'y participer vous sera communiquée.

## **10. Noms des personnes ressources**

Pour de plus amples renseignements au sujet de ce projet de recherche ou pour nous aviser du retrait de votre enfant, veuillez contacter Geneviève Moreau au (514) 323-7260, poste 2214. Pour une plainte ou des commentaires à formuler, veuillez communiquer avec l'ombudsman de l'Hôpital Rivière-des-Prairies, Mme Hélène Bousquet au (514) 323-7260, poste 2154.



### 11. Formule d'adhésion et signature

J'ai lu et compris le contenu de ce formulaire pour le projet qui requiert la participation de mon enfant. Je peux contacter les chercheurs pour leur poser des questions. Je sais que mon enfant est libre de participer au projet et qu'il demeure libre de s'en retirer en tout temps, par avis verbal. Je demeure aussi libre de l'en retirer aux mêmes conditions. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision. Je certifie que le projet a été expliqué à mon enfant dans la mesure du possible et qu'il accepte d'y participer sans contrainte ou pression. Je comprends que je recevrai une copie signée de ce formulaire. Je consens à ce que mon enfant participe au projet.

\_\_\_\_\_  
Nom du représentant légal

\_\_\_\_\_  
Signature du représentant légal

\_\_\_\_\_  
Date

Nom de l'enfant : \_\_\_\_\_, date de naissance : \_\_\_\_\_

Signature de l'enfant : \_\_\_\_\_

Téléphone : \_\_\_\_\_

### 12. Formule d'engagement du chercheur

Je certifie avoir expliqué aux signataires les termes du présent formulaire de consentement, avoir répondu aux questions qu'ils m'ont posé, leur avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à leur participation et que je leur remettrai une copie signée et datée du présent formulaire de consentement.

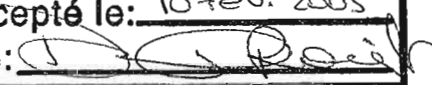
\_\_\_\_\_  
Nom du chercheur

\_\_\_\_\_  
Signature du chercheur

\_\_\_\_\_  
Date

### 13. Informations de type administratif

Le formulaire est signé en deux exemplaires. Un exemplaire est remis aux parents et un exemplaire est conservé sous clé dans un classeur réservé à ce projet à la Clinique des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies. Pour les sujets qui ont été référés par la Clinique des troubles de l'attention, une copie de cet exemplaire sera insérée au dossier médical de la Clinique.

**Comité d'éthique de la recherche**  
**Hôpital Rivière-des-Prairies**  
Projet accepté le: 10 fév. 2005  
Signature: 

## **Échéancier pour le projet neurofeedback 2005, phase 1**

Geneviève Moreau, Caroline Picard, Marie-Claude Guay,  
Philippe Lageix et André Achim

### Phase 1

<b>Dates</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tâche</b>	<b>Nombre d'enfant</b>
Février 2005	G. Moreau	Recrutement	14
Février-mars 2005	G. Moreau	Évaluation	14
Avril-juillet 2005	G. Moreau	Entraînement	7
Juillet-août 2005	G. Moreau	Ré-évaluation	14
Janvier-avril 2006	G. Moreau	Entraînement liste d'attente phase 1**	7

\*\* Le nombre d'enfants qui profiteront du programme dépend des résultats : Si les résultats sont positifs, les enfants en liste d'attente seront entraînés. Toutefois, si les résultats de la recherche ne permettent pas distinguer les enfants appartenant au groupe d'attente des enfants du groupe d'entraînement, les enfants de la liste d'attente ne seront pas entraînés.



**Projet de recherche sur l'utilité de la neurothérapie pour améliorer le niveau  
fonctionnel chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention, phase 2  
Lettre d'information**

Chers parents,

Dans le cadre des recherches effectuées par le Groupe interdisciplinaire de recherche sur l'amélioration de la concentration (GIRAC), un projet de recherche s'intitulant « L'utilité de la neurothérapie pour améliorer le niveau fonctionnel chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention » débutera en mai 2005 à la Clinique des Troubles de l'Attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies. Ce projet vise à démontrer l'utilité du neurofeedback pour l'amélioration d'un fonctionnement de l'enfant dans ses activités quotidiennes, son comportement et sa performance scolaire.

### **1. Recrutement**

Nous recrutons présentement des enfants âgés entre 8 et 12 ans ayant reçu un diagnostic de trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH) et étant sous traitement pharmacologique (psychostimulants tel que le Ritalin ou Concerta). Les enfants ayant déjà été vus à l'Hôpital Rivière-des-Prairies et les enfants présentant une hyperactivité dont l'autocontrôle du comportement n'ait pas contrôlé par la médication seront priorités.

Critères d'inclusion : Les enfants devront tous être issus d'une grossesse normale. S'ils présentent des co-morbidités au TDAH, ils seront évalués au cas par cas. Il est important de préciser que le diagnostic principal doit être un TDAH. Les enfants présentant une co-morbidité au TDAH d'anxiété, de troubles de comportement ou de retard du langage seront considérés.

Critères d'exclusion : Les enfants ne devront présenter d'antécédent neurologique. Ils ne devront jamais avoir été dans le coma ou avoir perdu conscience plus de 20 minutes. Les enfants présentant un TDAH ainsi qu'une co-morbidité d'un syndrome Gilles de la Tourette, troubles de l'humeur, troubles psychotiques, troubles de la personnalité, troubles envahissant du développement, troubles d'apprentissage graves, troubles neurodéveloppementaux, troubles épileptiques, une déficience intellectuelle ou troubles de l'alimentation seront automatiquement exclus.

En cours de recherche, un enfant pourrait être exclu s'il présente une réaction à la pâte abrasive NuPrep utilisée pour préparer la peau précédant la pose des électrodes ; s'il a recours à un programme de thérapie cognitive autre que celui proposé par le projet ; si des séances d'entraînement sont manquées sans préavis ou trop souvent annulées ; et si la coopération de l'enfant est jugée insuffisante.

## **2. Description du projet**

Dans le cadre de ce projet, votre enfant sera assigné au hasard à l'un des trois groupes possibles. Les participants assignés au groupe 1 recevront le programme de neurothérapie (aussi appelée neurofeedback). L'entraînement sera de 40 séances. Ces séances d'entraînement se dérouleront à la Clinique des Troubles de l'Attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies les soirs de semaine et les jours de fins de semaines et elles seront supervisées par des étudiantes au doctorat en psychologie. Durant ces séances d'entraînement, votre enfant sera entraîné à développer un contrôle sur l'activité électrique de son cerveau dans le but de normaliser cette activité et favoriser un état attentif. De plus, afin d'encourager les enfants à fournir un effort mental soutenu, un système de renforcement positif sera introduit. Le rythme des rencontres est de trois rencontres de 60 minutes chacune par semaine, pendant quatorze semaines.

Les participants assignés au groupe 2 recevront un traitement de type placebo dont les bénéfices ne seraient pas attribuables au conditionnement du cerveau. Les modalités d'entraînement des enfants des groupes 1 et 2 sont les mêmes. Cependant, les enfants du groupe 2 se verront présenter un écran dont l'animation sera influencée par l'activité électrique corticale d'un autre enfant. Les entraîneurs, enfants et leurs parents ne pourront connaître l'attribution des enfants aux groupes 1 et 2 avant la fin des séances d'entraînement. Les enfants du groupe 2 pourront profiter du véritable entraînement aux mêmes moment et conditions que les enfants du groupe 3.

Les enfants assignés au groupe 3 devront attendre environ 18 mois avant de pouvoir profiter du programme de neurothérapie. Cette option est conditionnelle au fait que les résultats de recherche démontrent un effet bénéfique réel du traitement et que votre enfant n'ait pas bénéficié de d'autres types d'entraînements cognitifs entre temps. Donc, dans la mesure où les bénéfices du traitement ne seraient pas confirmés, ce traitement ne serait pas offert à votre enfant.

## **3. Implication de la part des parents**

La participation au projet de recherche implique de votre part et de la part de votre enfant les points suivants :

- Administration d'une série de tests neuropsychologiques et d'un électroencéphalogramme à l'enfant. Cette évaluation se fera en trois parties d'environ deux heures chacune. L'évaluation sera répétée à trois moments durant l'année qui vient soit avant le début des entraînements, à la fin des entraînements et un an après la fin des entraînements.
- Les parents devront répondre à des questionnaires d'information sur l'histoire médicale et développementale de leur enfant, questionnaire sur l'historique de la prise de psychostimulant et donner leur consentement aux chercheurs pour l'accès au dossier médical si nécessaire. Les parents devront fournir une copie du bulletin scolaire de l'enfant et une copie de la prescription des psychostimulants obtenu du médecin de famille. De plus, aux trois moments de l'évaluation, les parents et enseignant de l'enfant devront répondre à des questionnaires portant sur le comportement de l'enfant.

- Des séances d'entraînements de neurothérapie de 60 minutes se dérouleront trois fois par semaine (soirs de semaine et jours de fin de semaine) à la Clinique des Troubles de l'Attention. Il y aura 40 séances d'entraînement qui seront échelonnées sur 14 semaines. La neurothérapie est une technique qui permet à l'enfant d'apprendre à modifier l'activité électrique de son cerveau à partir d'un appareil de neurothérapie jumelé à un ordinateur. À l'écran de l'ordinateur, l'enfant voit une image ou un jeu qui s'anime en fonction de son habileté à modifier l'activité électrique de son cerveau favorisant un état attentif et calme. Cette forme d'entraînement se rapproche d'un entraînement sportif : plus l'enfant pratique et répète des exercices de concentration plus il peut se concentrer facilement dans d'autres situations, notamment à l'école ou à la maison. Cet apprentissage se fera graduellement tout au long des 40 rencontres.
- Le projet implique un investissement de temps important de la part des parents et de leur enfant qui est évalué à environ 60 heures en plus des déplacements fréquents.

#### **4. Personnes à contacter concernant le projet**

Ce projet sera administré par Geneviève Moreau et Caroline Picard, étudiantes au doctorat en psychologie de l'Université du Québec à Montréal, sous la supervision du Professeur André Achim et avec la collaboration de Mme Marie-Claude Guay et du Dr Philippe Lageix de la Clinique des Troubles de l'Attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies.

Nous apprécions l'intérêt que vous portez à ce projet. Si vous êtes intéressé à ce que votre enfant participe à ce projet ou que vous aillez des commentaires ou des questions, n'hésitez pas à communiquer avec Geneviève Moreau en laissant un message au (514) 323-7260 poste 2214. Nous vous rappellerons dans les plus brefs délais.

Sincèrement,

Geneviève Moreau

Candidate au doctorat en psychologie, UQAM

Caroline Picard

Candidate au doctorat en psychologie, UQAM

## Échéancier pour le projet neurofeedback 2005, phase 2

Geneviève Moreau, Caroline Picard, Marie-Claude Guay,  
Philippe Lageix et André Achim

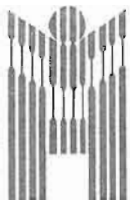
### Phase 2

Dates	Responsables	Tâche	Nombre d'enfants
Mai-juin 2005	G. Moreau, C. Picard	Recrutement	33
Mai-juin 2005	G. Moreau, C. Picard	Évaluation	33
Juillet-novembre 2005	G. Moreau, C. Picard	Entraînement	22
Novembre-décembre 2005	G. Moreau, C. Picard	Ré-évaluation 1	33
**Novembre 2006	G. Moreau, C. Picard	Ré-évaluation 2	33
**Janvier-Mai 2007	G. Moreau, C. Picard	Entraînement groupes 1 et 2 de la phase 2	22

\*\* Ces étapes seront exécutées seulement si l'analyse des résultats des phases 1 et 2 indiquent des différences entre les groupes expérimentaux. Dans la mesure où l'effet placebo serait tout aussi efficace que le vrai traitement ou s'il n'y avait pas de différence entre les groupes, cette étape serait annulée.

Le nombre d'enfants qui profiteront du programme dépend des résultats : Si les résultats sont positifs, les enfants en liste d'attente seront entraînés. Toutefois, si les résultats de la recherche ne permettent pas distinguer les enfants appartenant au groupe d'attente des enfants du groupe d'entraînement, les enfants de la liste d'attente ne seront pas entraînés.





## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT Programme de neurothérapie

### 1. Titre du projet, chercheurs et affiliations

L'utilité de la neurothérapie pour améliorer le niveau fonctionnel chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention (phase 2).

Geneviève Moreau : Co-responsable du projet. Candidate au doctorat en psychologie à l'UQAM.

Caroline Picard : Co-responsable du projet. Candidate au doctorat en psychologie à l'UQAM.

Marie-Claude Guay, Ph.D. : Psychologue-chercheuse à la Clinique spécialisée des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies.

Philippe Lageix, M.D. : Pédopsychiatre à la Clinique spécialisée des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies.

André Achim, Ph.D. : Professeur-chercheur au département de psychologie à l'UQAM.

### 2. Description du projet

Ce projet vise à démontrer l'utilité du neurofeedback pour l'amélioration du fonctionnement de l'enfant dans ses activités quotidiennes, son comportement et sa performance scolaire. Le neurofeedback est une technique qui permet à l'enfant d'apprendre à modifier l'activité électrique de son cerveau à partir d'un appareil de neurothérapie jumelé à un ordinateur. À l'écran de l'ordinateur, l'enfant voit une image ou un jeu qui s'anime en fonction de son habileté à modifier l'activité électrique de son cerveau en favorisant un état attentif et calme. Cet entraînement se rapproche d'un entraînement sportif : plus l'enfant pratique et répète des exercices de concentration, plus il peut se concentrer facilement dans d'autres situations, notamment à l'école ou à la maison. Cet apprentissage se fera graduellement tout au long des 40 rencontres.

### 3. Procédure à l'étude

Dans le cadre de ce projet, votre enfant sera assigné au hasard à l'un des trois groupes possibles. Les participants assignés au groupe 1 recevront le programme de neurothérapie (aussi appelée neurofeedback). L'entraînement sera de 40 séances. Ces séances d'entraînement se dérouleront à la Clinique des Troubles de l'Attention (CTA) de l'Hôpital Rivière des Prairies les soirs de semaine et les samedis et elles seront supervisées par des étudiantes au doctorat en psychologie. Durant ces séances d'entraînement, votre enfant sera entraîné à développer un contrôle sur l'activité électrique de son cerveau dans le but de normaliser cette activité et favoriser un état attentif. De plus, afin d'encourager les enfants à fournir un effort mental soutenu, un système de renforcement positif sera introduit. Le rythme des rencontres est de trois rencontres de 60 minutes chacune par semaine, pendant treize semaines.

Les participants assignés au groupe 2 recevront un traitement de type placebo dont les bénéfices ne seraient pas attribuables au conditionnement du cerveau. Les modalités d'entraînement des enfants des groupes 1 et 2 sont les mêmes. Cependant, les enfants du groupe 2 se verront

présenter un écran dont l'animation sera influencée par l'activité électrique corticale d'un autre enfant. Les entraîneurs, enfants et leurs parents ne pourront connaître l'attribution des enfants aux groupes 1 et 2 avant la fin des séances d'entraînement. Les enfants du groupe 2 pourront profiter du véritable entraînement aux mêmes moment et conditions que les enfants du groupe 3.

Les enfants assignés au groupe 3 devront attendre plus d'un an avant de pouvoir profiter du programme de neurothérapie. Cette option est conditionnelle au fait que les résultats de recherche démontrent un effet bénéfique réel du traitement et que votre enfant n'est pas bénéficié de d'autres types d'entraînements cognitifs entre temps. Donc, dans la mesure où les bénéfices du traitement ne seraient pas confirmés, ce traitement ne serait pas offert à votre enfant.

Les sessions d'entraînement impliquent la pose de trois électrodes, deux sur les oreilles et une sur la tête. Concernant la pose des électrodes pour les entraînements :

L'enregistrement de l'activité électrique du cerveau se fait par des électrodes maintenues sur la tête à l'aide d'une pâte conductrice spécialement conçue à cet effet (marque 10-20). Avant de poser les électrodes, on prépare la peau aux endroits où vont les électrodes, à l'aide d'une pâte abrasive (marque Nu-Prep) conçue à cet effet. Chez les personnes dont la peau est particulièrement sensible, l'utilisation de cette pâte abrasive peut causer une irritation passagère de la peau. La réaction de la peau sera donc vérifiée en appliquant la pâte sur le poignet. S'il y a réaction cutanée, l'enfant sera exclu de la recherche.

La participation de votre enfant à ce projet implique également six autres rencontres d'évaluation à la Clinique des troubles de l'attention de votre enfant avec un psychotechnicien à trois moments au courant de l'année 2005-2006 (voir échéancier) pour mesurer les effets du programme de neurothérapie sur les fonctions attentionnelles et sur les comportements. La durée de chacune des évaluations est d'environ deux heures. À ces trois moments d'évaluation, un enregistrement vidéo de votre enfant sera fait durant une partie de la période d'évaluation afin de documenter les comportements d'inattention. De plus, à ces trois moments d'évaluation, afin d'évaluer les changements comportementaux de votre enfant en milieu familial, il vous sera demandé de compléter des questionnaires mesurant ses comportements à la maison et son enseignant complètera ces mêmes questionnaires afin d'évaluer ses comportements à l'école.

#### **4. Exclusion du participant de l'étude**

Le participant pourrait être exclu de l'étude s'il répond à l'un des critères suivants :

- Réaction à la pâte abrasive NuPrep utilisée pour préparer la peau à la pose des électrodes.
- Recours à un programme de thérapie cognitive autre que celui proposé par le projet.
- Des séances d'entraînement manquées sans préavis ou trop souvent annulées.
- La coopération de l'enfant est jugée insuffisante.

#### **5. Concernant les participants n'ayant pas été référés par l'Hôpital Rivière-des-Prairies**

Les participants qui n'ont pas été référés par la Clinique des troubles de l'attention devront passer une évaluation supplémentaire d'environ 90 minutes dont les résultats serviront à déterminer si le profil attentionnel de l'enfant correspond à un trouble déficitaire de l'attention tel que déterminé par les intervenants de la Clinique. Il n'y aura pas d'ouverture de dossiers à la Clinique et aucun



rapport d'évaluation ne sera rédigé suite à cette évaluation. L'enfant doit avoir un suivi médical à l'extérieur de l'Hôpital Rivière-des-Prairies et être capable d'en fournir la preuve.

## **6. Avantages et bénéfices pour le participant**

La contribution de votre enfant à cette recherche est une contribution à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'intervention auprès d'enfants présentant un TDAH.

En participant à ce projet, votre enfant se verra offrir quatre certificats-cadeaux de 10\$ de son choix d'une valeur totale de 40\$. Ces certificats seront remis à chaque 10 rencontres.

En plus de l'entraînement de neurofeedback, des techniques de relaxation, de respiration et une posture adéquate seront enseignées à l'enfant entraîné.

## **7. Inconvénients et risques**

Il n'y a aucun inconvénient personnel direct pouvant découler de cette étude, d'autant plus que le caractère confidentiel des données est assuré.

Cependant, la participation à l'étude nécessite un investissement de temps de la part des parents et des enfants qui est évalué à environ 60 heures en plus des déplacements fréquents.

La participation au projet exige que l'enfant n'ait pas recours à un autre type de thérapie cognitive pour la durée du projet afin de ne pas biaiser les résultats de la recherche.

## **8. Modalités prévues en matière de confidentialité**

Le consentement implique que les responsables de la recherche auront accès aux dossiers médicaux (médecin de famille et CTA), psychologique et scolaire de l'enfant pour la durée de la recherche.

Aucune donnée nominative n'apparaît dans les dossiers de recherche. Les dossiers ainsi que tous les protocoles de tests sont codés et conservés sous clé à la Clinique des troubles de l'attention. Seuls les chercheurs ont accès à la correspondance entre les codes et les données nominatives. De plus, seuls les chercheurs ont accès aux dossiers et aux protocoles de tests. Les résultats de la recherche seront conservés cinq ans après leur publication et seront ensuite détruits. Il est entendu que les renseignements contenus dans les dossiers de recherche de l'enfant pourront être décrits de façon anonyme dans des publications scientifiques, mais qu'en aucun cas des informations personnelles ne pourront être divulguées d'une façon telle que l'on puisse l'identifier.

## **9. Liberté de participation et de retrait**

Votre participation à cette étude est tout à fait volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser d'y participer sans que votre refus ne nuise aux relations avec les autres professionnels impliqués dans les services offerts à votre enfant. Toute nouvelle connaissance acquise au cours de cette étude qui pourrait affecter votre décision d'y participer vous sera communiquée.

## **10. Noms des personnes ressources**

Pour de plus amples renseignements au sujet de ce projet de recherche ou pour nous aviser du retrait de votre enfant, veuillez contacter Geneviève Moreau au (514) 323-7260, poste 2214. Pour

une plainte ou des commentaires à formuler, veuillez communiquer avec l'ombudsman de l'Hôpital Rivière-des-Prairies, Mme Hélène Bousquet au (514) 323-7260, poste 2154.

### 11. Formule d'adhésion et signature

J'ai lu et compris le contenu de ce formulaire pour le projet qui requiert la participation de mon enfant. Je peux contacter les chercheurs pour leur poser des questions. Je sais que mon enfant est libre de participer au projet et qu'il demeure libre de s'en retirer en tout temps, par avis verbal. Je demeure aussi libre de l'en retirer aux mêmes conditions. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision. Je certifie que le projet a été expliqué à mon enfant dans la mesure du possible et qu'il accepte d'y participer sans contrainte ou pression. Je comprends que je recevrai une copie signée de ce formulaire. Je consens à ce que mon enfant participe au projet.

\_\_\_\_\_  
Nom du représentant légal

\_\_\_\_\_  
Signature du représentant légal

\_\_\_\_\_  
Date

Nom de l'enfant : \_\_\_\_\_, date de naissance : \_\_\_\_\_

Signature de l'enfant : \_\_\_\_\_

Téléphone : \_\_\_\_\_

### 12. Formule d'engagement du chercheur

Je certifie avoir expliqué aux signataires les termes du présent formulaire de consentement, avoir répondu aux questions qu'ils m'ont posé, leur avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à leur participation et que je leur remettrai une copie signée et datée du présent formulaire de consentement.

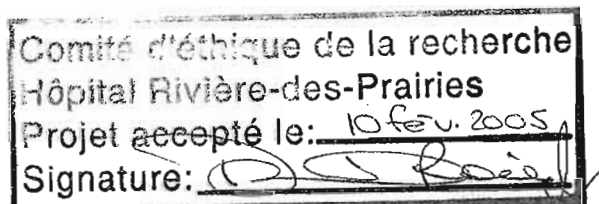
\_\_\_\_\_  
Nom du chercheur

\_\_\_\_\_  
Signature du chercheur

\_\_\_\_\_  
Date

### 13. Informations de type administratif

Le formulaire est signé en deux exemplaires. Un exemplaire est remis aux parents et un exemplaire est conservé sous clé dans un classeur réservé à ce projet à la Clinique des troubles de l'attention de l'Hôpital Rivière-des-Prairies. Pour les sujets qui ont été référés par la Clinique des troubles de l'attention, une copie de cet exemplaire sera insérée au dossier médical de la Clinique.



## **Échéancier pour le projet neurofeedback 2005, phase 1**

Geneviève Moreau, Caroline Picard, Marie-Claude Guay,  
Philippe Lageix et André Achim

### Phase 2

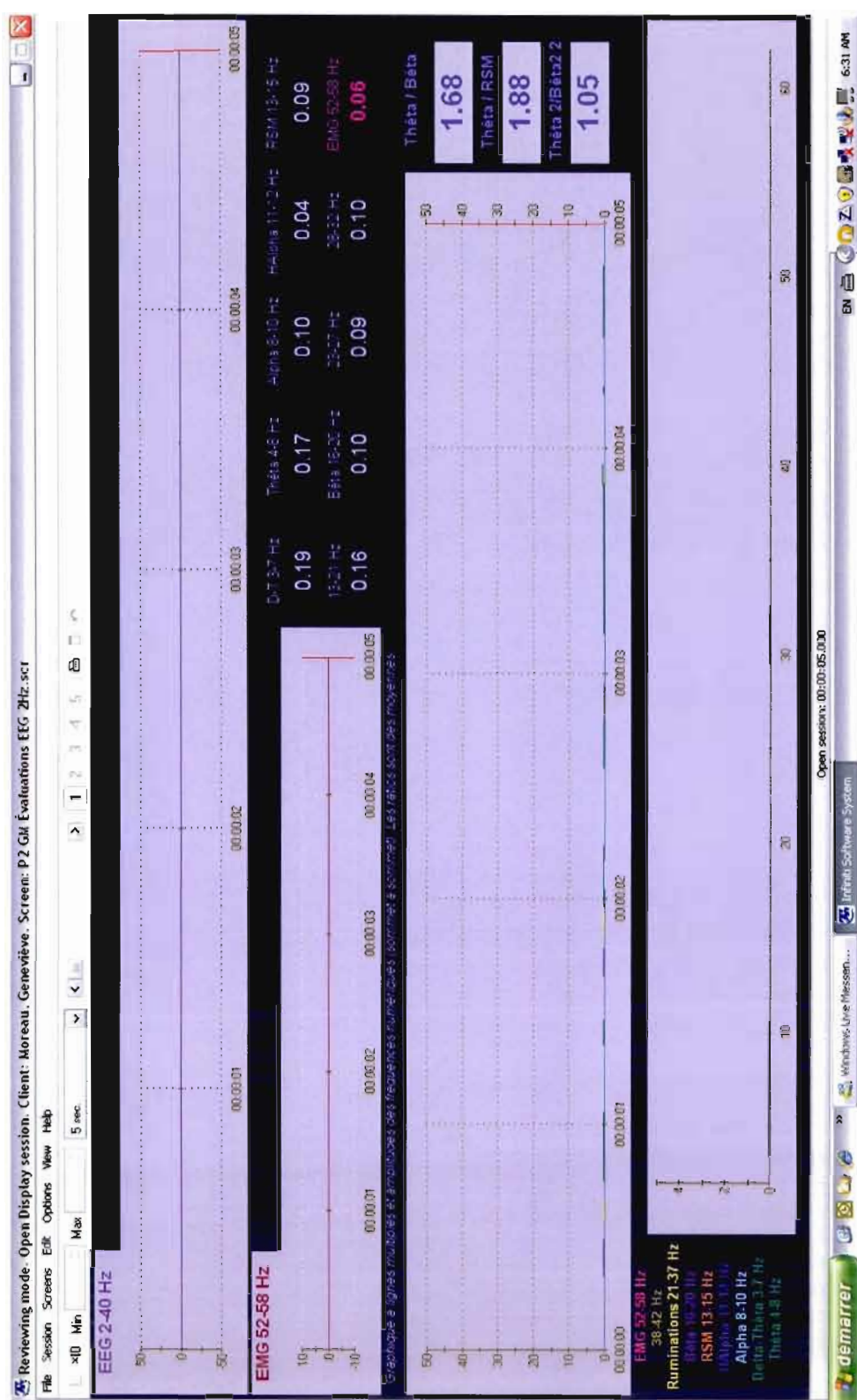
<b>Dates</b>	<b>Responsables</b>	<b>Tâche</b>	<b>Nombre d'enfant</b>
Avril 2005	G. Moreau, C. Picard	Recrutement	30
Mai 2005	G. Moreau, C. Picard	Évaluation	30
Juin-octobre 2005	G. Moreau, C. Picard	Entraînement	20
Novembre 2005	G. Moreau, C. Picard	Ré-évaluation 1	30
Novembre 2006	G. Moreau, C. Picard	Ré-évaluation 2	30
**Janvier-Mai 2007	G. Moreau, C. Picard	Entraînement groupes 1 et 2 de la phase 2	20

\*\* Cette étape sera exécutée seulement si l'analyse des résultats des phases 1 et 2 indiquent des différences entre les groupes expérimentaux. Dans la mesure où l'effet placebo serait tout aussi efficace que le vrai traitement ou s'il n'y avait pas de différence entre les groupes, cette étape serait annulée.

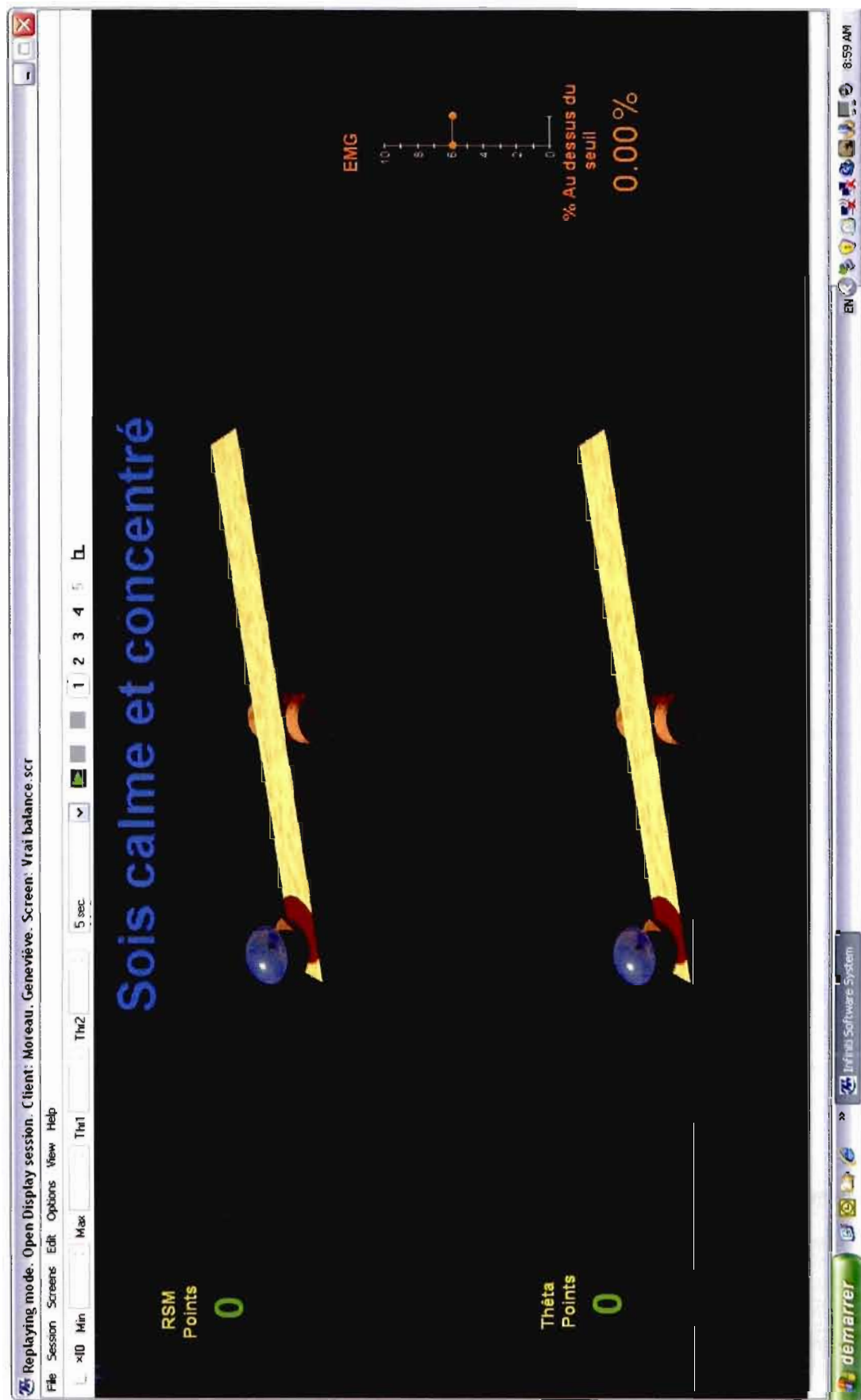
Le nombre d'enfants qui profiteront du programme dépend des résultats : Si les résultats sont positifs, les enfants en liste d'attente seront entraînés. Toutefois, si les résultats de la recherche ne permettent pas distinguer les enfants appartenant au groupe d'attente des enfants du groupe d'entraînement, les enfants de la liste d'attente ne seront pas entraînés.

# APPENDICE F EXEMPLES D'ÉCRANS

Écran utilisé lors de l'évaluation et au début de chaque séance pour obtenir la ligne de base

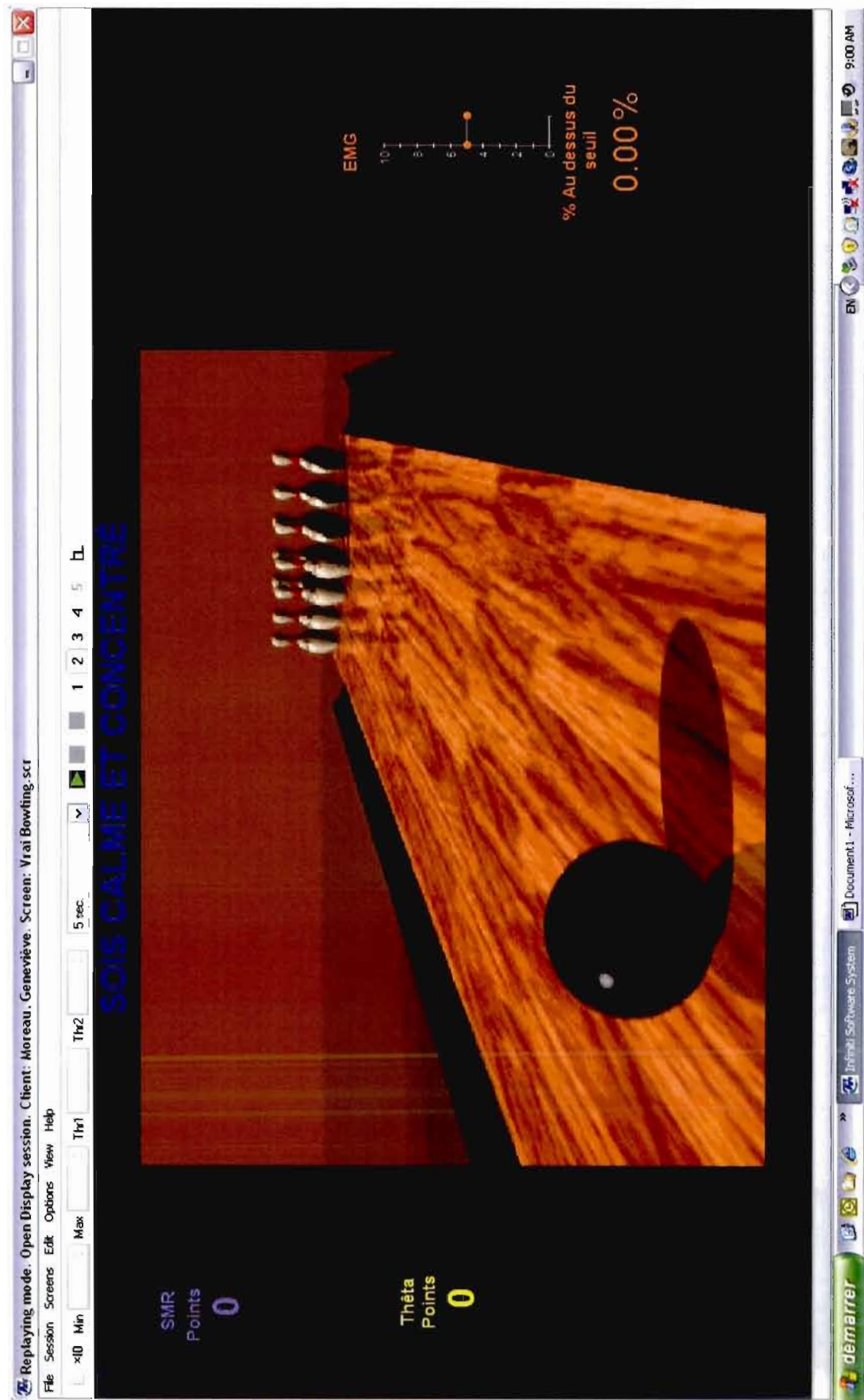


## Écrans utilisés lors des entraînements













## APPENDICE G

### PARAMÈTRES D'ENTRAÎNEMENT

#### *Protocoles d'entraînement de neurofeedback*

##### *Les modalités de la rétroaction (feedback)*

Dans le domaine du biofeedback traditionnel, peu d'études publiées ont porté explicitement sur la modalité de rétroaction. Il a toutefois été établi que le mode de présentation des stimuli de rétroaction influence la réponse à l'entraînement (Lal et al., 1998). En comparant l'utilisation de stimuli visuels, de stimuli auditifs ou une combinaison des deux dans la présentation de rétroaction, Lal et ses collaborateurs ont démontré que les stimuli visuels ou une combinaison de stimuli visuels et auditifs étaient plus efficaces pour permettre l'acquisition du contrôle de la modalité entraînée, que des stimuli présentés en modalité auditive seulement. D'ailleurs, la majorité des équipements de neurofeedback offrent une combinaison des modalités de présentation des stimuli, ce qui est d'ailleurs le plus souvent utilisé à la fois en recherche (e.g: Lubar & Lubar, 1984; Lubar & Shouse, 1976; Lubar, Swartwood, Swartwood, & O'Donnell, 1995; Monastra, Monastra, & Georges, 2002; Shouse & Lubar, 1979; Thompson & Thompson, 1998) et dans le domaine clinique.

Toutefois, aucune recherche n'a porté sur la modalité de la présentation des stimuli en neurofeedback dans le traitement du TDAH précisément. Cependant, dans la comparaison des modalités de présentation des stimuli en neurofeedback, Hinterberger et ses collègues (2004) ont observé que chez des participants normaux qui ont été entraînés en neurofeedback de potentiels corticaux lents (SCP, pour « slow cortical potential »), la modalité de présentation visuelle des stimuli était la plus efficace dans l'acquisition du contrôle EEG souhaité.

##### *Les paramètres des fréquences entraînées*

Dans l'ensemble, les recherches en neurofeedback sur les enfants souffrant d'un TDAH ont mis l'accent sur trois approches différentes, soit l'entraînement des SCP, de Thêta-Bêta ou de Thêta-RSM (paramètres de fréquence : Thêta (4-8 Hz), RSM (12-15 Hz) et Bêta (15 à 20 Hz ou 12-20 Hz). Selon la méta-analyse effectuée par Arns et ses collègues (2009), il n'y aurait pas de différence sur les effets de chacune de ces approches

dans le traitement du TDAH. De même, les recherches qui ont eu pour objectif de comparer un entraînement Thêta-Bêta (12-20 Hz) à un traitement SCP n'ont pu déterminer une approche plus efficace que l'autre (Gevensleben, et al., 2009; Leins et al., 2007). Toutefois, l'équipe de Gevensleben a observé des différences à l'EEG spécifiques au type de traitement choisi leur permettant de croire que des processus neurologiques distincts soient responsables des résultats similaires qui ont été obtenus. Malgré tout, la plupart des études sur l'utilisation du neurofeedback dans le traitement du TDAH portent sur l'inhibition de l'activité des ondes Thêta (Vernon, Frick, & Gruzelier, 2004). On vise la diminution de l'activité des ondes lentes (Thêta) étant donné que l'amplitude excessive de ces ondes est ce qui caractérise le plus les enfants avec TDAH au repos ou lors de l'exécution d'une tâche cognitive par rapport aux enfants sans TDAH du même âge.

Lorsqu'on demande à l'enfant d'augmenter plutôt ou en plus l'amplitude d'une fréquence en particulier, c'est plus communément soit le rythme sensorimoteur (RSM, 12 à 15 Hz) et /ou les ondes Bêta (16 à 20 Hz). Ainsi, plusieurs chercheurs et praticiens font le choix de renforcer l'activité RSM chez les enfants hyperactifs et/ou impulsifs chez qui l'activité motrice est excessive (Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier, & Kaiser, 2003; Lubar & Lubar, 1984; Lubar & Shouse, 1976; Shouse & Lubar, 1979; Thompson & Thompson, 1998; Vernon et al., 2004).

Les raisons pour entraîner les enfants avec TDAH à augmenter l'activité Bêta 1 (15 à 20 Hz) sont basées sur deux principes. Tout d'abord, les études portant sur le EEGq révèlent que les enfants avec TDAH présenteraient moins d'activité Bêta 1 que les enfants contrôles du même âge (Clarke, Barry, McCarthy, & Selikowitz, 1998; Mann, Lubar, Zimmerman, Miller, & Muenchen, 1992). De plus, une association entre l'activité Bêta 1 et l'attention a été suggérée par Linden et ses collaborateurs (1996). Ils ont proposé qu'une amplitude des ondes Bêta 1 plus importante serait associée à des états de plus grande vigilance, concentration et attention.

### *Le montage*

Les montages utilisés en neurofeedback utilisent la technique de « common mode rejection » pour s'assurer de bien enregistrer seulement l'activité électrique du cerveau et non l'activité électromagnétique ambiante de la salle où se trouve le sujet. Cette

technique nécessite l'utilisation d'une électrode active et d'une référence, en plus d'une électrode neutre désignée « mise à la masse » (ou « ground »). L'activité enregistrée à l'électrode référence (par rapport à la masse) sera soustraite de l'activité enregistrée par l'électrode active (aussi par rapport à la masse).

Deux types de montages sont décrits et utilisés dans la recherche en neurofeedback, bien que la comparaison entre ces deux types de montages n'ait pas été faite, du moins en ce qui concerne le traitement du TDAH. Tout d'abord, il y a le montage référentiel (monopolaire) avec une électrode active qui est souvent installée à Cz, C4 ou C3, une électrode de référence à l'une ou l'autre des oreilles (souvent l'oreille ipsilatérale) ou sur les mastoïdes. L'électrode référence doit ainsi être placée sur la tête pour avoir la même contamination par l'électrocardiogramme que l'électrode active, mais loin des sources neuro-électriques du cerveau. La troisième électrode sert à nettoyer les artéfacts électriques causés par le champ électromagnétique ambiant et s'installe sur l'oreille ou la mastoïde opposée à la référence.

Le deuxième type de montage est séquentiel ou bipolaire. Il s'agit de deux électrodes au dessus de régions actives du cerveau, souvent installées à FCz et CPz. Le signal enregistré est alors la différence d'activité entre ces deux sites. Tout comme dans un montage monopolaire, la troisième électrode sert à nettoyer le signal électrique et est installée sur l'oreille ou la mastoïde du côté droit ou gauche (ça a peu d'importance).

Les potentiels enregistrés sont le reflet du gradient électrique entre deux points. Le signal est la simple différence entre les niveaux captés aux deux électrodes. L'avantage d'un montage monopolaire est qu'il permet d'entraîner une bande EEG spécifique à un site en particulier.

Dans le cadre d'un montage monopolaire, plusieurs sites d'entraînement ont été utilisés, mais trois sites le sont plus fréquemment dans le traitement du TDAH soit, C3, C4 et Cz (selon le système 10-20). Hill et ses collègues (2009) ont comparé sur un test attentionnel (version latéralisée du Attention Network Test du laboratoire de M. Posner), les effets du neurofeedback à partir de quatre sites différents chez des adultes présentant des difficultés d'apprentissage, soit à Fz, Cz, C3 et C4. Les chercheurs ont observé une amélioration d'habiletés attentionnelles spécifiques selon le site entraîné (vigilance, attention sélective, attention exécutive-résolution de conflits). Ils observent également

que les entraînements à C3 et à C4 entraînent des améliorations attentionnelles plus importantes que lorsque les entraînements se font à partir des sites localisés sur la ligne médiane (Cz et Fz).

### *Paramètres des sessions d'entraînement*

Aucune étude n'a été spécifiquement faite pour comparer le nombre de sessions, leur durée et leur fréquence pour un rendement optimal. Dans le milieu clinique, comme en recherche, la fréquence des entraînements est très variable et va de 1 à 5 séances par semaine. Certains vont même jusqu'à offrir 2 séances par jour quotidiennement afin de faire le plus de séances en un temps très court. Cependant, la majorité des études offrent à leurs sujets de 2 à 3 séances d'entraînement par semaine. Les participants de l'Étude de Monastra et al. (2002) n'avaient qu'une session par semaine.

La durée des séances d'entraînement dans le cadre d'une recherche varie de 30 à 60 minutes. Mais il n'est pas clair s'il s'agit du nombre de minutes d'entraînement actif au cours de la séance ou s'il s'agit de la durée totale de la séance incluant ainsi l'installation du sujet et la pose des électrodes. La durée des séances est tout aussi variable en clinique mais il semble y avoir une tendance vers les séances d'une durée totale de 60 minutes. Cette option donne suffisamment de temps pour que se développe une relation thérapeutique entre le thérapeute et le client en garantissant une durée certaine d'entraînement.

Le nombre de séances varie de 10 à plus de 40 selon les recherches. Certains chercheurs ont obtenu des résultats positifs par rapport au comportement, la performance académique et/ou cognitive en offrant 10, 20 ou 40 séances de neurofeedback, chez des participants sains ou présentant un TDAH (eg: Boyd & Campbell, 1998; Egner & Gruzelier, 2004; Lubar & Lubar, 1984; Lubar et Shouse, 1976; Monastra et al., 2002; Rossiter & LaVaque, 1995; Shouse et Lubar, 1979).

Mentionnons finalement qu'étant donné le manque d'évidence scientifique favorisant un protocole par rapport à un autre et le manque de standardisation dans le choix des protocoles en milieu clinique, nous avons opté pour le protocole utilisé par les Thompson (1998) dans leurs travaux de recherche et en clinique, dans le cadre de la présente étude, ce protocole étant bien représentatif des protocoles auxquels les résultats

attendus devraient pouvoir s'appliquer. De plus, c'est le protocole avec lequel l'auteure a eu sa formation en neurofeedback et développé son expérience clinique. La méthodologie utilisée est décrite à l'appendice B.

## BIBLIOGRAPHIE

- Arns, M., de Ridder, S., Strehl, U., Breteler, M., & Coenen, A. (2009). Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: A meta-analysis. *Clinical EEG and neuroscience*, 40, 180-189.
- Boyd, W. D., & Campbell, S. E. (1998). EEG biofeedback in the schools: The use of EEG biofeedback to treat ADHD in a school setting. *Journal of neurotherapy*, 2, 65-71.
- Clarke, A. R., Barry, R. J., McCarthy, R., & Selikowitz, M. (1998). EEG analysis in attention-deficit/hyperactivity disorder: A comparative study of two subtypes. *Psychiatry research*, 81, 19-29.
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2004). EEG biofeedback of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115, 131-139.
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J. H., & Kaiser, J. (2003). Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: A comparison with methylphenidate. *Applied psychophysiological biofeedback*, 28, 1-12.
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., et al. (2010). Neurofeedback training in children with ADHD: 6-month follow-up of randomised controlled trial. *European child and adolescent psychiatry*, 19, 715-724.
- Hill, A., Barnea, A., Herzberg, K., Rassis-Ariel, A., Rotem, S., Meltzer, Li, Y. H., & Zaidel, E. (2009). Measuring and modulating hemispheric attention (pp. 125-143). Dans F. Aboitiz & D. Cosmelli (Eds), *From attention to goal-directed behavior*. Berlin: Springer.
- Hinterberger, T., Neumann, N., Pham, M., Kübler, A., Grether, A., Hofmayer, N., Wilhelm, B., Flor, H., & Birbaumer, N. (2004). A multimodal brain-based feedback and communication system. *Experimental brain research*, 154, 521-526.
- Lal, S. K. L., Henderson, R. J., Carter, N., Bath, A., Hart, M. G., Langeluddecke, P., & Hunyor, S. N. (1998). Effect of feedback signal and psychological characteristics on blood pressure self-manipulation capability. *Psychophysiology*, 35, 405-412.

- Leins, U., Goth, G., Hinterberger, T., Klinger, C., Rumpf, N., & Strehl, U. (2007). Neurofeedback for children with ADHD: A comparison of SCP and Theta/Beta protocols. *Applied psychophysiological biofeedback, 32*, 73-88.
- Linden, M., Habib, T., & Radojevic, V. (1996). A controlled study of the effects of EEG biofeedback on cognition and behavior of children with attention deficit disorder and learning disabilities. *Biofeedback and self regulation, 21*, 35-49.
- Lubar, J. O., & Lubar, J. F. (1984). Electroencephalographic biofeedback of SMR and beta for treatment of attention deficit disorders in a clinical setting. *Biofeedback self-regulation, 9*, 1-23.
- Lubar, J. F., & Shouse, M. N. (1976). EEG and behavioural changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): A preliminary report. *Biofeedback and self-regulation, 3*, 293-306.
- Lubar, J. F., Swartwood, M. O., Swartwood, J. N., & O'Donnell, P. (1995). Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical setting as measured by changes in T.O.V.A. scores, behavioral ratings, and WISC-R performance. *Biofeedback and self-regulation, 20*, 83-99.
- Mann, C. A., Lubar, J. F., Zimmerman, A. W., Miller, C. A., & Muenchen, R. A. (1992). Quantitative analysis of EEG in boys with attention-deficit-hyperactivity disorder: Controlled study with clinical implications. *Pediatric Neurology, 8*, 30-36.
- Monastra, V. J., Monastra, D. M., & George, S. (2002). The effects of stimulant therapy, EEG biofeedback, and parenting style on the primary symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied psychophysiology and biofeedback, 27*, 231-49.
- Rossiter, T. R., & LaVaque, T. J. (1995). A comparison of EEG biofeedback and psychostimulants in treating attention deficit hyperactivity disorders. *Journal of neurotherapy, 1*, 48-59.
- Shouse, M. N., & Lubar, J. F. (1979). Sensorimotor rhythm (SMR) operant conditioning and methylphenidate in the treatment of hyperkinesis. *Biofeedback and self regulation, 4*, 299-311.

Thompson, L. & Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies: effectiveness in students with ADD. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 23, 243-263.

Vernon, D., Frick, A., & Gruzelier, J. (2004). Neurofeedback as a treatment for ADHD: A methodological review with implications for future research. *Journal of neurotherapy*, 8, 53-82.